

Классические концепции ЕНКМ



- Концепция моделирования объектов
- Концепция контролируемого (регулярного) воздействия
- Классическая концепция измерения
- **Концепция мира событий**

Концепция мира событий

Концепция мира событий

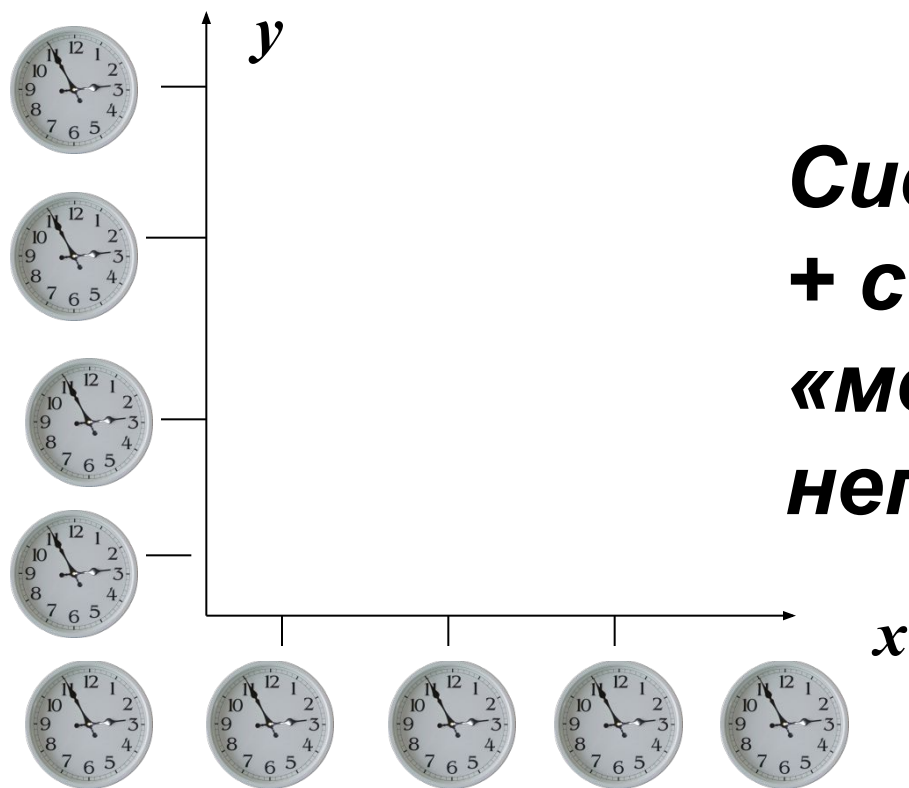
(реализация идеи единства пространства и времени)

1. Понятие события (что? где? когда?)



отражает **равноправие** пространственных и временных координат для описания движения любого объекта в данной **неподвижной системе отсчета** (СО).

Система отсчета -



***Система координат
+ совокупность
«местных»
неподвижных часов***

Если СО движется с большой
скоростью

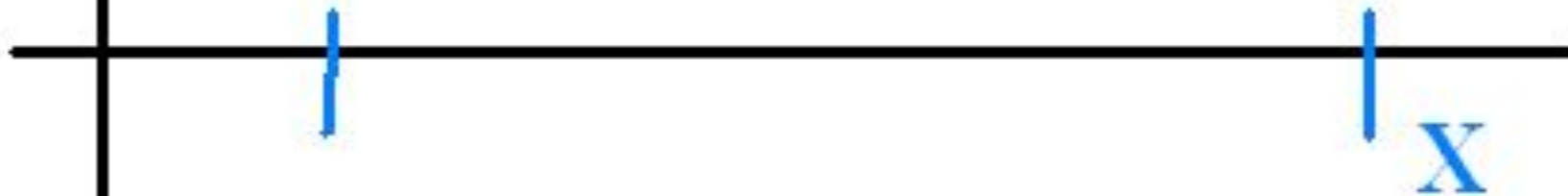
(*V сравнимо со скоростью света*):

- понятия **когда?** и **как долго?** становятся неоднозначными, они начинают зависеть от скорости СО.
- показания **«местных» часов** зависят от **пространственных координат** события
- **промежутки времени между событиями** зависят от скорости системы отсчета

«Парадокс» μ – мезонов и замедление времени

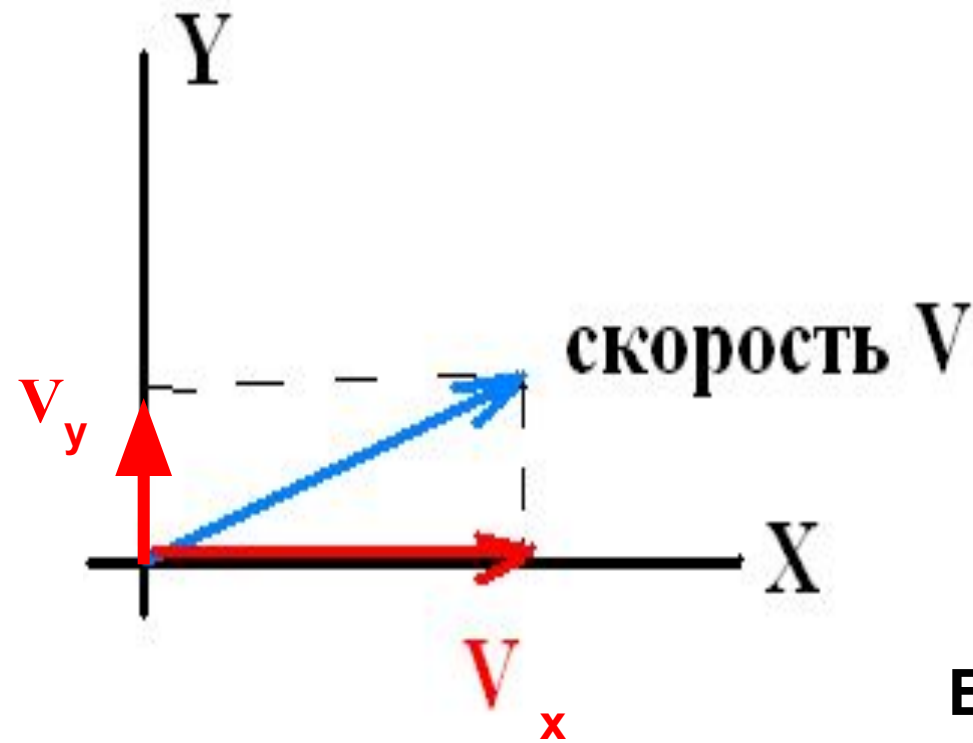
- **μ – мезон** в лаборатории на Земле «живет» от рождения до распада $\tau = 2,2 \cdot 10^{-6}$ сек.
- Даже при скорости, равной $C = 3 \cdot 10^8$ м/сек он **смог бы пройти расстояние**
- $L = vt = ct = 660$ м
- «Место» его рождения на высоте **20** км над Землей.
- Как разрешить противоречие?
 - ~~либо $v \gg c$,~~
 - либо $t \gg \tau$!!!

Как это объяснить?

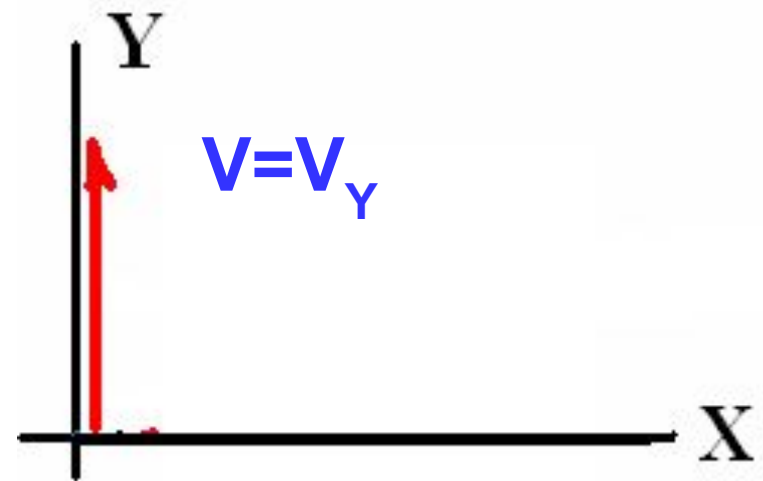


Какой из автомобилей раньше
придет к финишу?

Разложение скорости на проекции



$$V = \{V_x, V_y\}$$

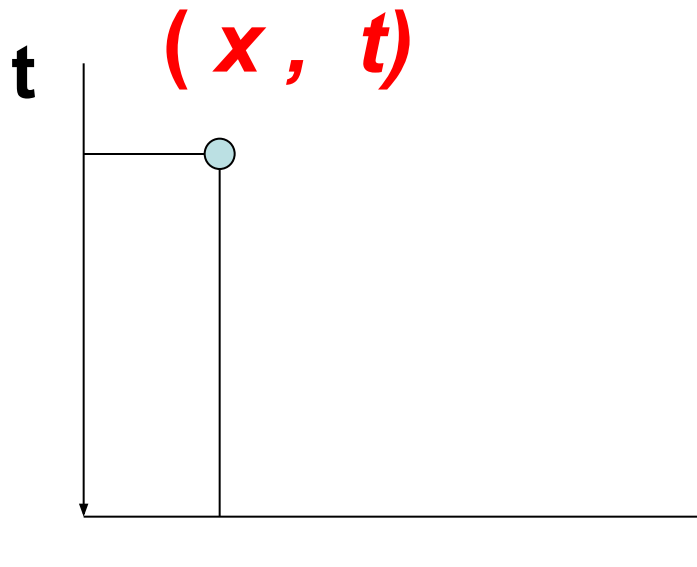


$$V = \{0, V_y\}$$

Если $V = V_y$, то
скорость по оси X равна 0
и перемещения вдоль оси
X нет

Событие -

В простейшем случае для описания события необходимо задать две координаты (x, t)



**При движении тела
изменяются обе
координаты**

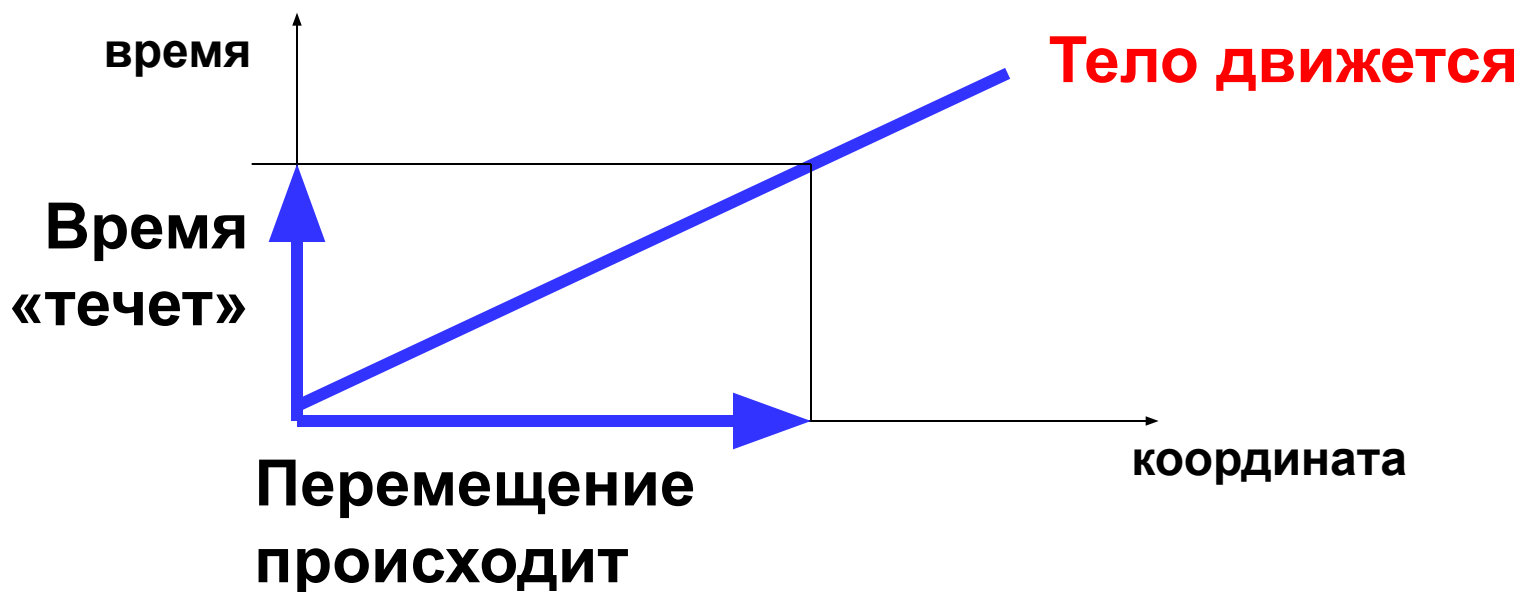
В **покое** изменяется только одна координата - **время**

- Если тело **не изменяет своего положения**, «движение» все равно происходит, но во времени



При перемещении тела

- движение как бы «распределяется» между **пространственным и временным** измерениями



- Полная скорость движения любого объекта в пространстве и во времени всегда равна скорости света
- Если тело перемещается в пространстве из состояния покоя, «часть» движения только во времени «перенаправляется» в движение в пространстве.
- Это можно интерпретировать как замедление движения во времени, или замедление времени
- Темп хода движущихся часов замедляется!

Движущиеся в пространстве часы идут медленнее

Период **неподвижных** часов

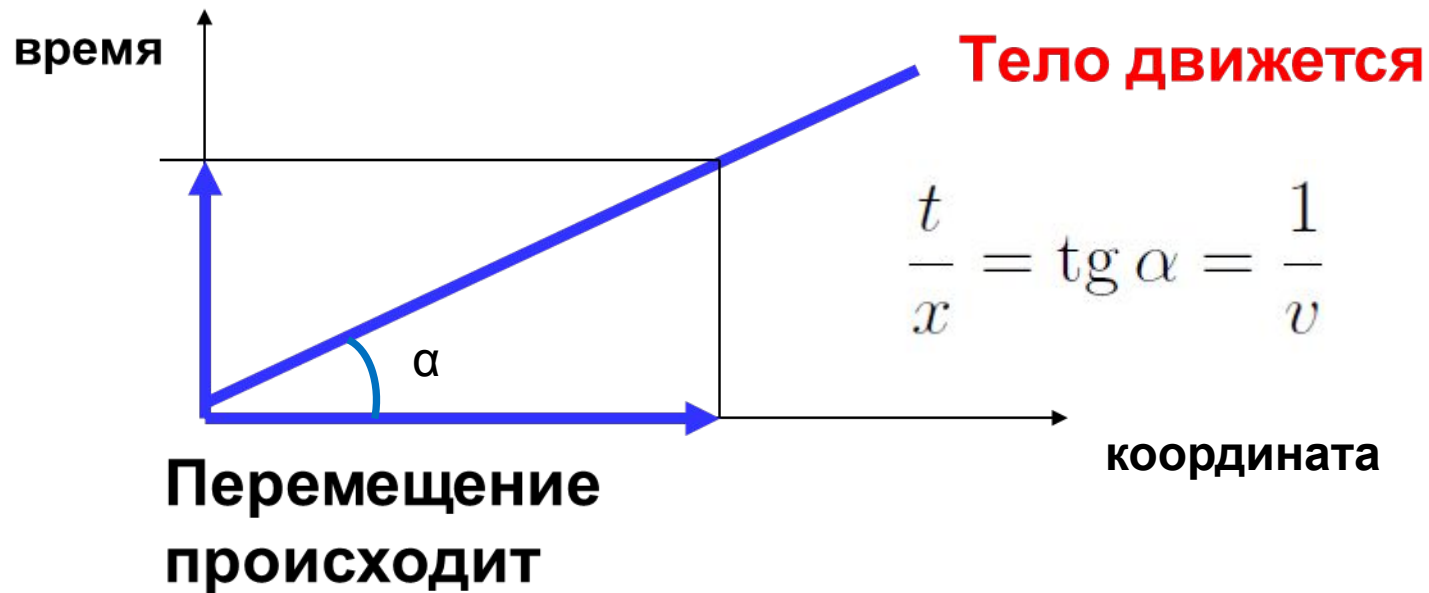
Период **движущихся** часов

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Скорость света

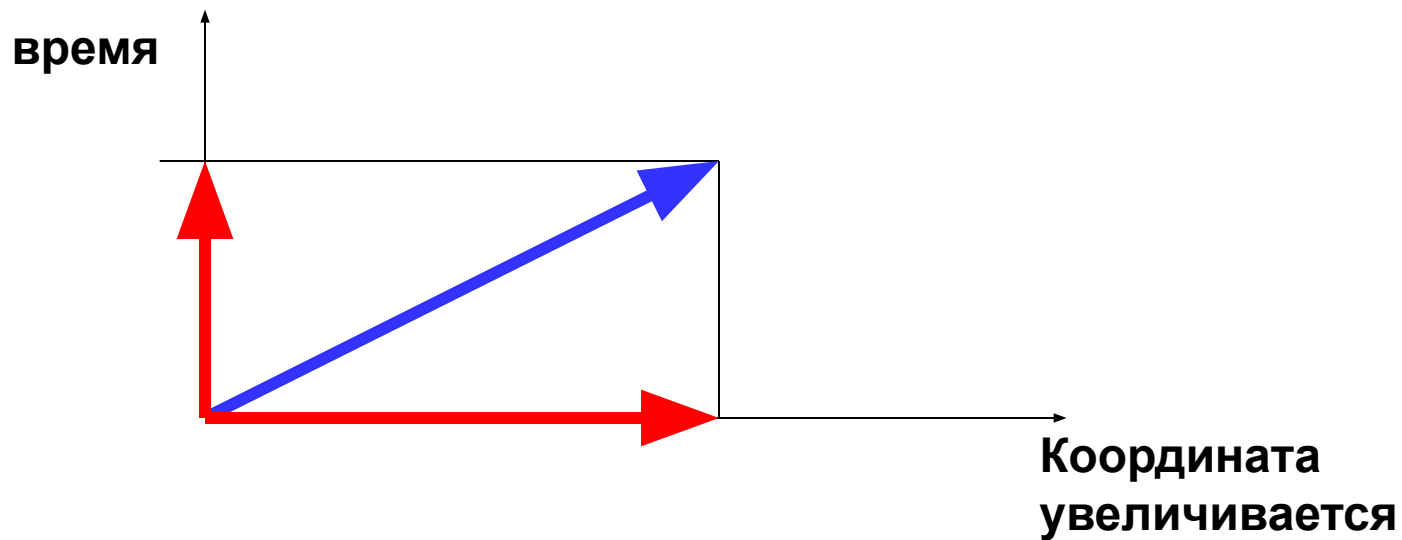
Знаменатель дроби тем меньше 1, чем
больше **v** - – скорость

**движения часов в
неподвижной ИСО**

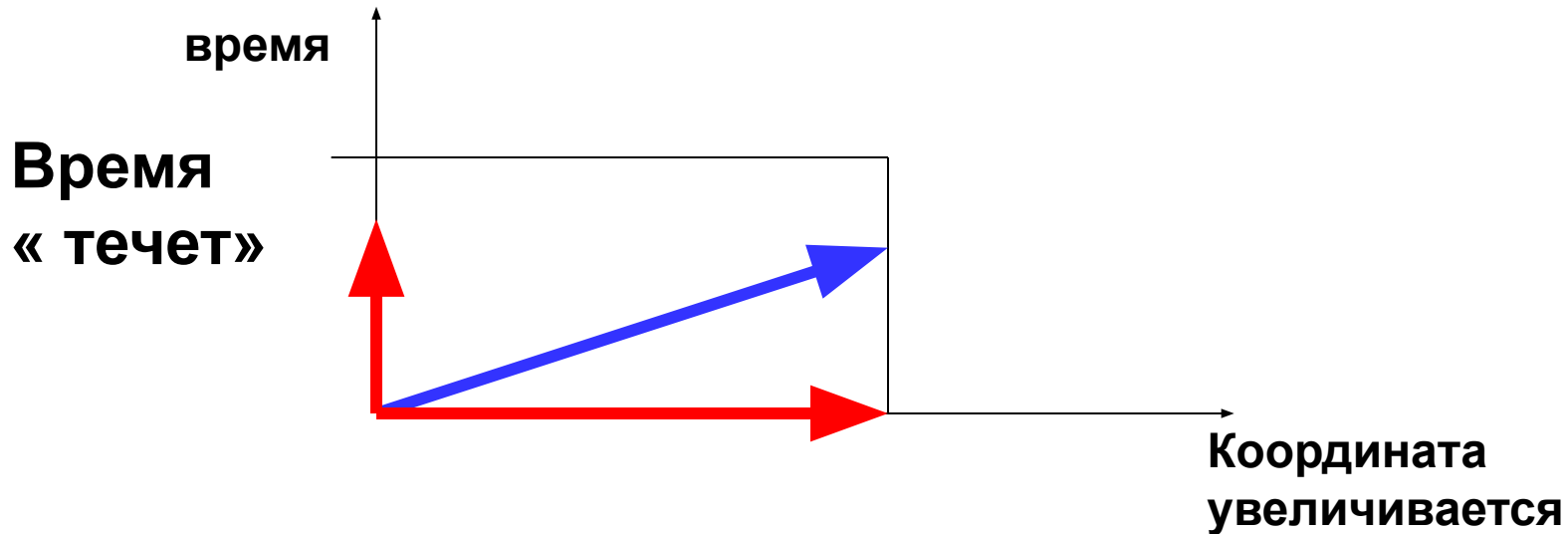


Чем больше его скорость, тем меньше $\operatorname{tg} \alpha$. По мере приближения скорости к скорости света $\operatorname{tg} \alpha$ стремится к 0

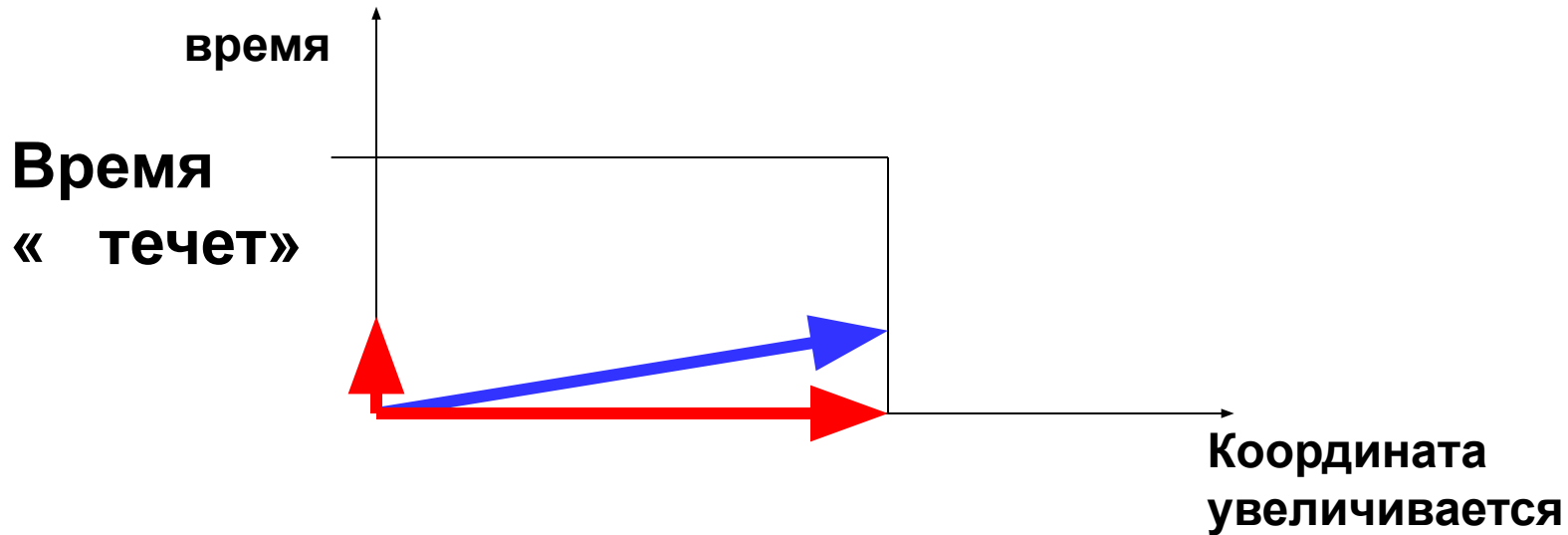
- Рассмотрим движение тела с некоторой нерелятивистской скоростью



- Для тела, движущегося с большей скоростью, угол наклона графика к горизонтальной оси уменьшается Это можно трактовать так: проекция движения на ось **времени сокращается**,

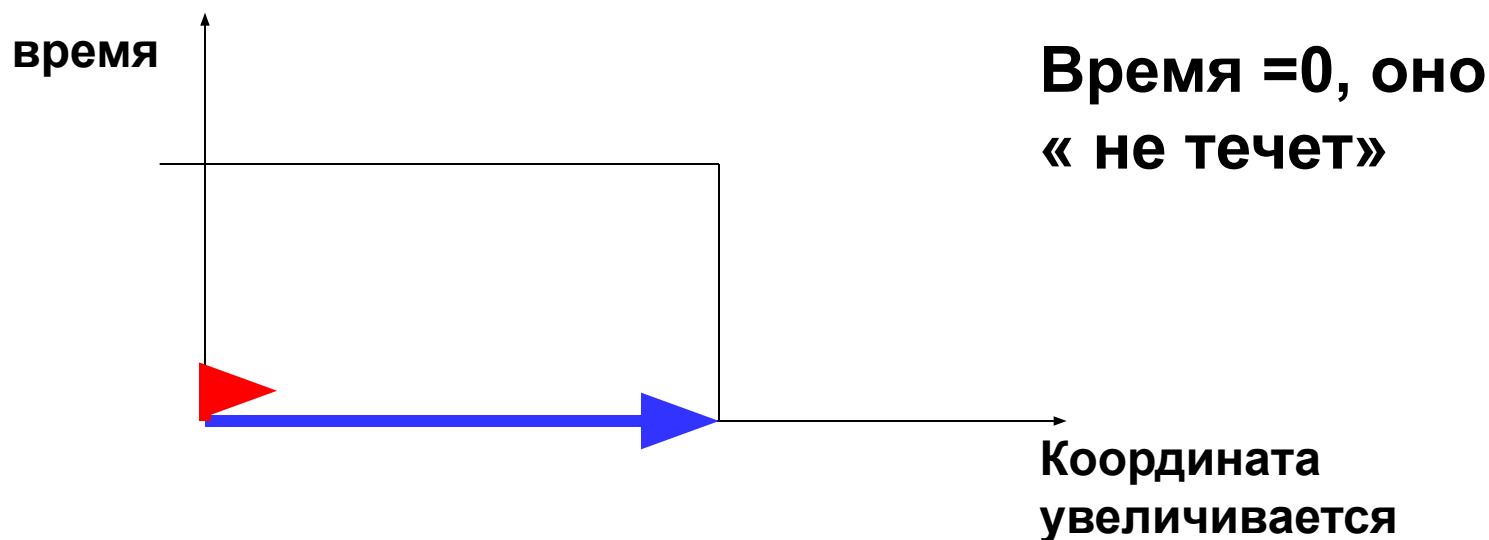


- По мере приближения скорости к скорости света движение по оси **времени всё более сокращается**



Фотон движется в пустоте со скоростью C

- Движение более «не распределяется» между **пространственным и временным** измерениями, а происходит только по пространству. При этом его компонента вдоль оси времени исчезает. Для фотонов «**время остановилось**», они не «стареют» !



- Если бы тело массой m **перемещалось** в пространстве со скоростью света (как фотоны в пустоте), его «**движение во времени**» вообще бы прекратилось
- Это и происходит с фотонами в вакууме. Для них «**время остановилось**», они не «стареют» !

Научная фантастика



Парадокс близнецов

Рассуждаем дальше:

- Если **перемещающиеся** в пространстве часы **замедляют свой ход**, то измеряемое с их помощью **расстояние также должно уменьшиться!**

Точка зрения неподвижного наблюдателя:
размер объекта, движущегося со скоростью V , уменьшается

$$L_p = L \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

$$L_p < L$$

«Кажущееся» сокращение длины в направлении движения

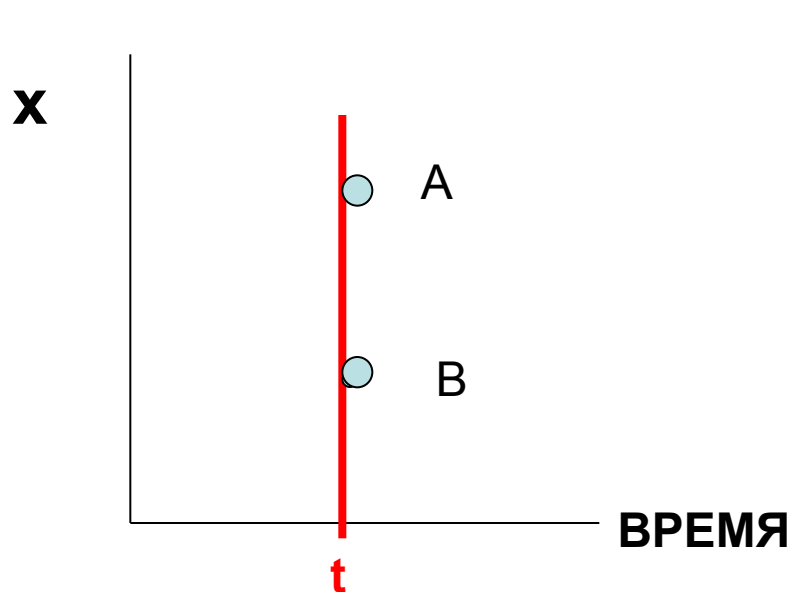


Если бы самолет летел с $V \sim c$, диспетчер на Земле обнаружил бы, что самолет стал «короче». Пилоту бы показалось, что короче стала взлётная полоса.

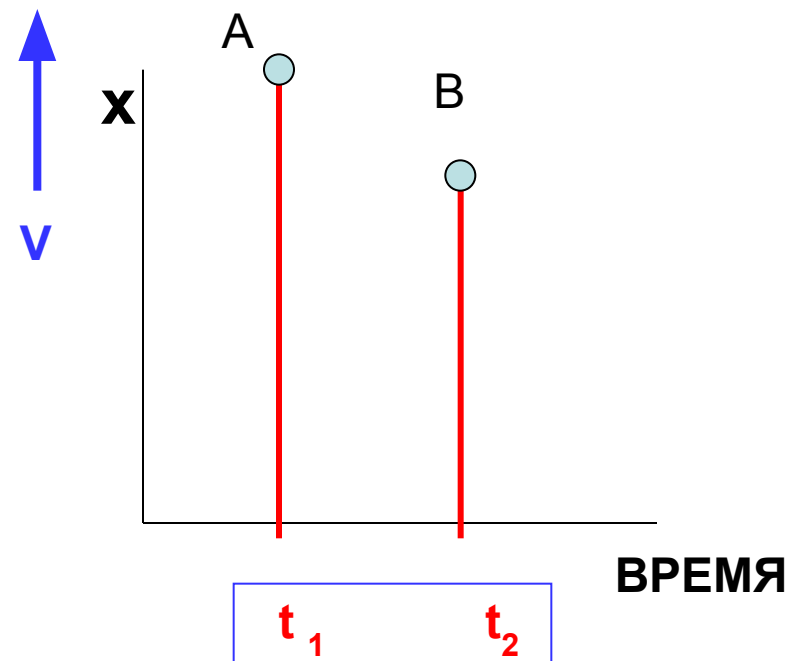
Это проявление относительности эффекта!

Новые относительные величины

Понятие «**одновременно**»
зависит от скорости системы отсчета

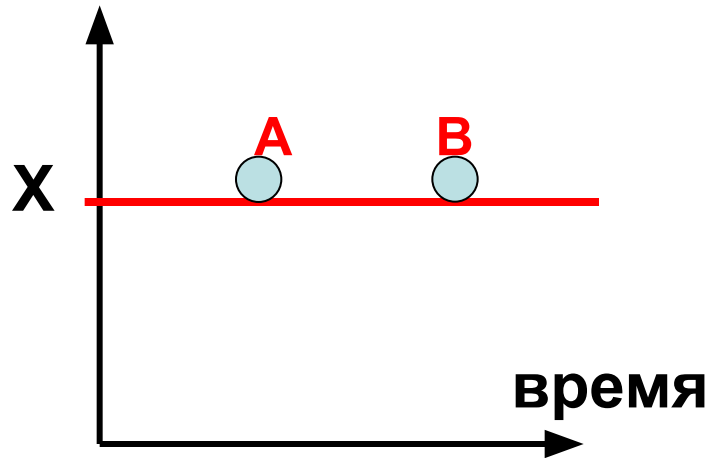


События А и В происходят
в **одно ВРЕМЯ** в
неподвижной системе

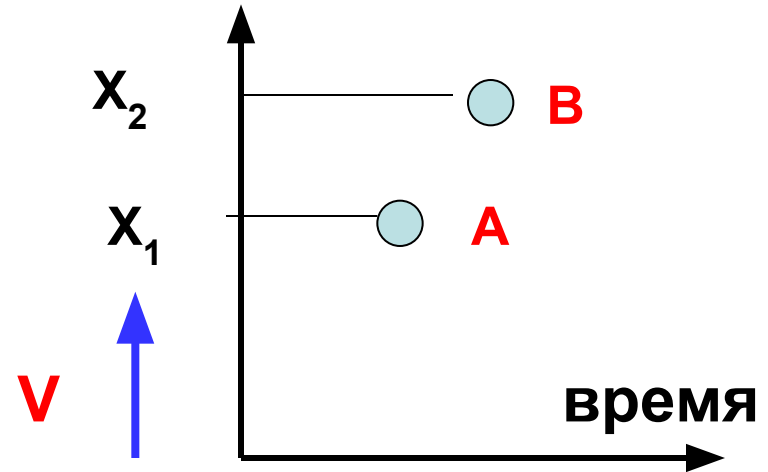


События А и В происходят в
разное ВРЕМЯ
в **движущейся** системе

Понятие «в одном месте» зависит от скорости системы отсчета



События A и B в
одном месте в
неподвижной СО



События A и B
происходят в
разных местах
в **движущейся** СО

Итак, в мире событий

**не существует абсолютных
представлений об одновременности
и одноместности двух событий.**

**Эти понятия становятся
относительными**

Итак,

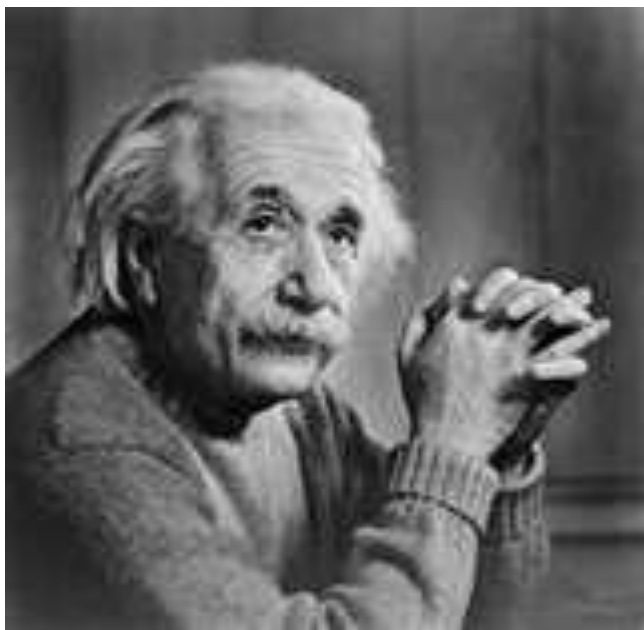
- В мире больших скоростей неподвижный и движущийся наблюдатели воспринимают пространство и время по-разному: скорости, расстояния, промежутки времени зависят от наблюдателя, **НО**
- В этом мире есть новая абсолютная сущность – единое пространство-время

ОДНАКО НЕЛЬЗЯ ПОЛАГАТЬ, ЧТО В МИРЕ СОБЫТИЙ НЕ СУЩЕСТВУЕТ ИНВАРИАНТНЫХ, Т.Е. НЕ ЗАВИСЯЩИХ ОТ ВЫБОРА ИСО, ВЕЛИЧИН. ДЕЛО В ТОМ, ЧТО НА СМЕНУ РАССТОЯНИЮ Δx И ПРОМЕЖУТКУ ВРЕМЕНИ Δt , КОТОРЫЕ В ЭТОМ МИРЕ ОКАЗЫВАЮТСЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫМИ, ПРИХОДИТ ИХ КОМБИНАЦИЯ, НАЗЫВАЕМАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫМ ИНТЕРВАЛОМ

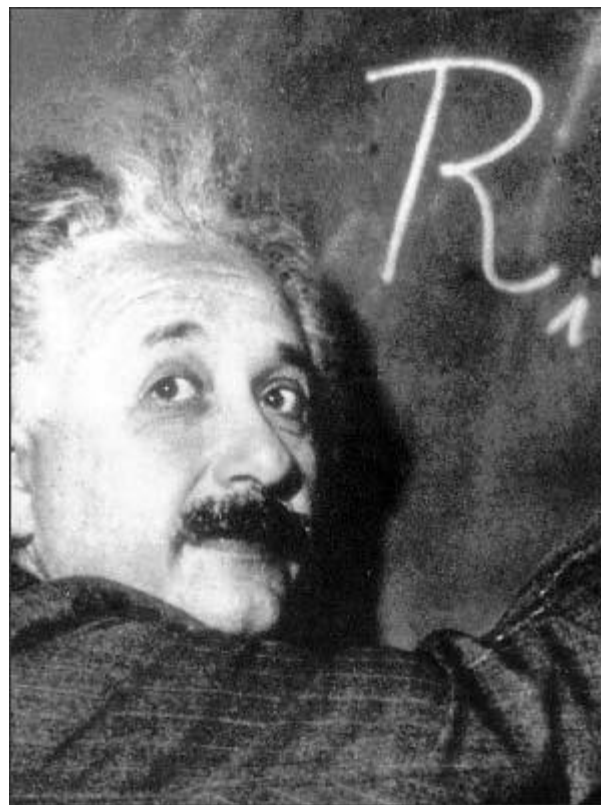
$$\Delta \mathcal{R}^2 = c^2 (\Delta t)^2 - (\Delta x)^2$$

Пространственно-временной интервал не зависит от скорости системы отсчета. Во всех ИСО он имеет одно и то же значение.

Создатель специальной теории относительности – А. Эйнштейн



- 1879-1955



Основные принципы СТО

1. Принцип относительности

Во всех СО, которые движутся равномерно и прямолинейно,:

- **физические характеристики** объектов могут иметь **разные** числовые значения, однако
- **законы природы**, выражающие отношения между характеристиками объектов, **одинаковы**

2. *Принцип предельной скорости*

Объекты, имеющие ненулевую массу,
**не могут достигать скорости V , равной
скорости света в пустоте: $V < c$.**

3. *Принцип постоянства скорости света*

**Скорость света не зависит от скорости
движения источника излучения, а также от
скорости наблюдателя**

Главная идея СТО

- независимость скорости света от движения наблюдателя – неопровержимый факт

**Чтобы реализовать этот факт,
пространство и время
«подстраиваются» под наблюдателя:
они могут
растягиваться и сжиматься**

Проявление эффектов теории ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- **Магнитное поле электрического тока
– релятивистский эффект**



За счет скорости движения уменьшается расстояние между зарядами. Это ведет к эффективному увеличению силы их взаимодействия – появлению магнитной силы.

Проявление эффектов теории относительности

Влияние движения СО на
электрическое и магнитное поле:

понятия

электрического поля E и

магнитного поля B

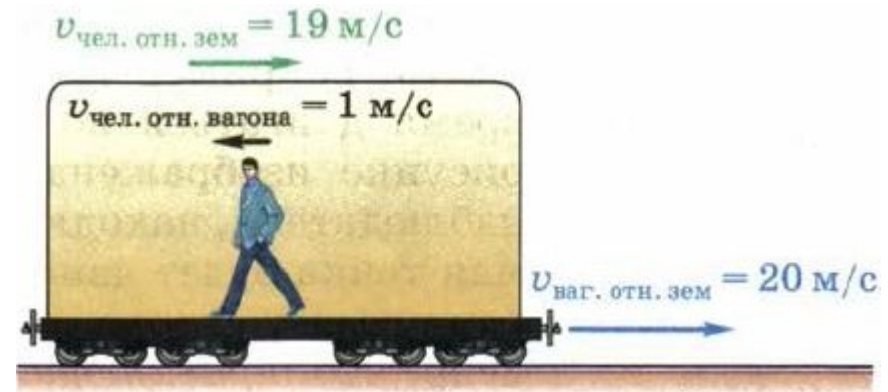
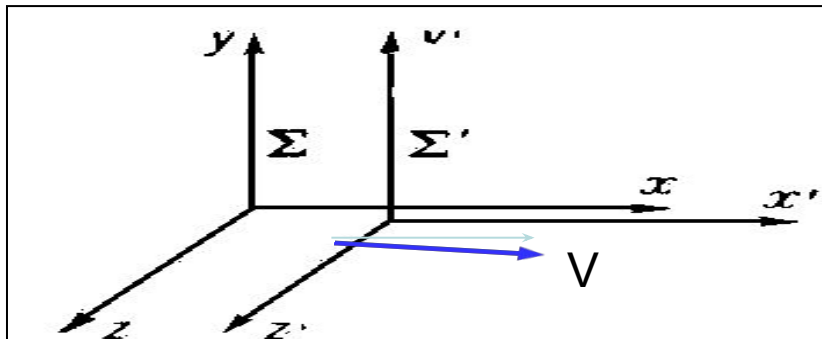
относительны, т.е. зависят от СО. В
ИСО покоя магнитного поля нет!

В мире событий изменяется правило преобразования скорости при переходе от одной ИСО к другой:

v - скорость объекта относительно движущейся ИСО Σ' ;

V - скорость ИСО Σ' относительно неподвижной ИСО Σ

U - скорость объекта относительно неподвижной ИСО Σ



$v, V \ll c$

$$U_x = (v_x + V_x)$$

$v \sim c; V \sim c$

$$U_x = (v_x + V_x) \frac{1}{1 + \frac{v_x V_x}{c^2}}$$

**Изменяются также по сравнению с галилеевыми
правила преобразования координат**

$$\begin{cases} x' = x - Vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \end{cases}$$

Обобщение выражений для

импульса

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

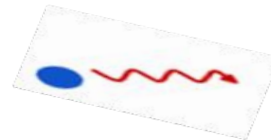
полной энергии

$$E = E_0 + E$$

энергия покоя mc^2

Кинетическая энергия

Два электромагнитных импульса движутся навстречу друг другу вдоль оси X. Найти скорость одного импульса в ИСО, связанной с другим импульсом.



$$U_x = (v_x + V_x) \frac{1}{1 + \frac{v_x V_x}{c^2}}$$

$$v_x = c; V_x = c$$

$$U_x = (c + c) \frac{1}{1 + \frac{cc}{c^2}} = (2c) \frac{1}{1 + 1} = c$$

В другой системе отсчета скорость фотона по-прежнему равна C

Поэтому при произвольных скоростях даже для движения по оси X двумерный континуум (x,t) не может быть разбит на два независимых континуума (x) и (t) , что означало бы раздельное рассмотрение пространства и времени (как в галилеевой физике для нерелятивистских движений)

Большие расстояние и время можно измерять в одних и тех же единицах. Световой **год** — это **расстояние**, которое свет проходит за календарный год, (около 10^{16} метров).

Мир событий -это единый четырёхмерный континуум. Каждому событию соответствуют четыре определенных числа. Мир событий реализуется в едином пространстве-времени!

Геометрия пространства – времени относительна.

Различные системы отсчета производят различное «расщепление» единого четырехмерного пространства — времени на трехмерное пространство и одномерное время.

ИСО «вырезают» из пространства — времени «плоские» пространственные «слои», внутренняя геометрия которых является евклидовой.

Вращающаяся система отсчёта всегда имеет ускорение и «расщепляет пространство — время на «кривые» пространственные «слои». Поэтому здесь геометрия пространства оказывается неевклидовой,

Универсальность константы c

Данная величина определяет:

1. скорость ЭМИ в пустоте $V = c$
2. силу взаимодействия двух эл. токов
3. связь размеров неподвижного и движущегося объектов
4. связь промежутков времени в неподвижной и движущейся СО
5. величину импульса объекта
6. энергию покоя любого объекта

Даже для
объектов,
имеющих
скорость

$$V \neq c$$

Фундаментальность константы c

- Данная величина существенна для всех видов материи - ЭМИ (*масса фотона = 0*) и тел, имеющих ненулевую массу.
- Универсальность и фундаментальность константы c

дает основание связать ее со свойствами не самих объектов, а с единым пространством – временем, т.е. с геометрией мира событий

c – имеет более глубокий
смысл, чем только скорость
света.

Ее относят к числу четырех мировых
констант

и называют также

электродинамической постоянной

Концепция мира событий

**Существует единый
четырёхмерный
пространственно-временной
мир событий, в котором:**

- Все явления определяются
единой мировой константой –
электродинамической
постоянной c**

Концепция мира событий

- **Скорость света является предельно возможной скоростью движения материальных объектов**

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/сек}$$

- Понятия «одновременно» и в «одном месте» не являются одинаковыми для всех систем отсчета. Они зависят от скорости движения системы отсчета
- Даже изолированное неподвижное тело массы m обладает энергией покоя

$$E_0 = mc^2$$

Значение теории относительности

До СТО - две *самостоятельные* теории, противоречащие друг другу:

- **Механика** - скорость объекта зависит от выбора СО
- **Электромагнетизм** – скорость ЭМИ постоянна во всех СО

СТО объединила обе теории на основе **новых представлений** о едином мире событий

Необходимость модификации Ньютоновской теории гравитации

- Теория гравитации Ньютона основана на понятии силы тяготения, которая является дальнодействующей силой: она действует мгновенно на любом расстоянии.
- Это несовместимо с со специальной теорией относительности, в которой никакая информация не может распространиться быстрее скорости света в пустоте.

- Чтобы разрешить это противоречие, необходимо вернуться к обсуждению самого понятия пространства

Пространство-время в присутствии массивных тел:

«Без материи нет и пространства.
Пространство есть такой **порядок**,
который делает возможным
расположение тел в случае
их совместного
существования»

Г.Лейбниц
1646-1716



К понятию пространства

АЛФАВИТ: А Б В Г Д Е Ж З...Э Ю Я

Возникает вместе с буквами

Устанавливает взаимное расположение
(порядок) букв

Не имеет смысла без буквенного содержания

Аналогично

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ имеет смысл
только применительно к событиям,
происходящим в нем с массивными телами.

Согласно Лейбницу

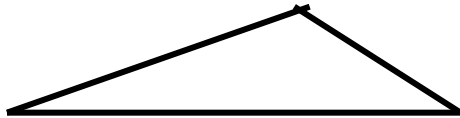
- Если из пространства убрать все объекты, оно стало бы столь же бессмысленным, как и алфавит без букв

Если бы Вселенная сдвинулась «в сторону» как единое целое, мы не смогли бы об этом узнать.

Невозможность обнаружить пространство как самостоятельную сущность - подтверждение позиции Лейбница

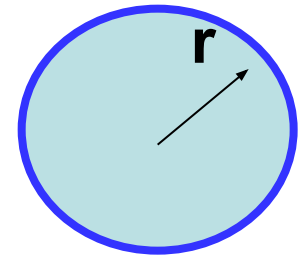
В присутствии малых масс - геометрия Евклида

аксиома параллельных

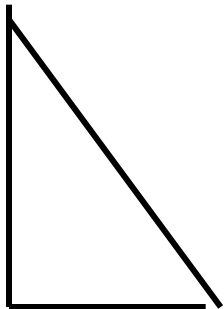


Сумма углов треугольника
равна 180^0 (π)

Длина окружности $2\pi r$



Кратчайшее расстояние -
прямая



В прямоугольном треугольнике –
теорема Пифагора: сумма квадратов
катетов равна квадрату гипотенузы

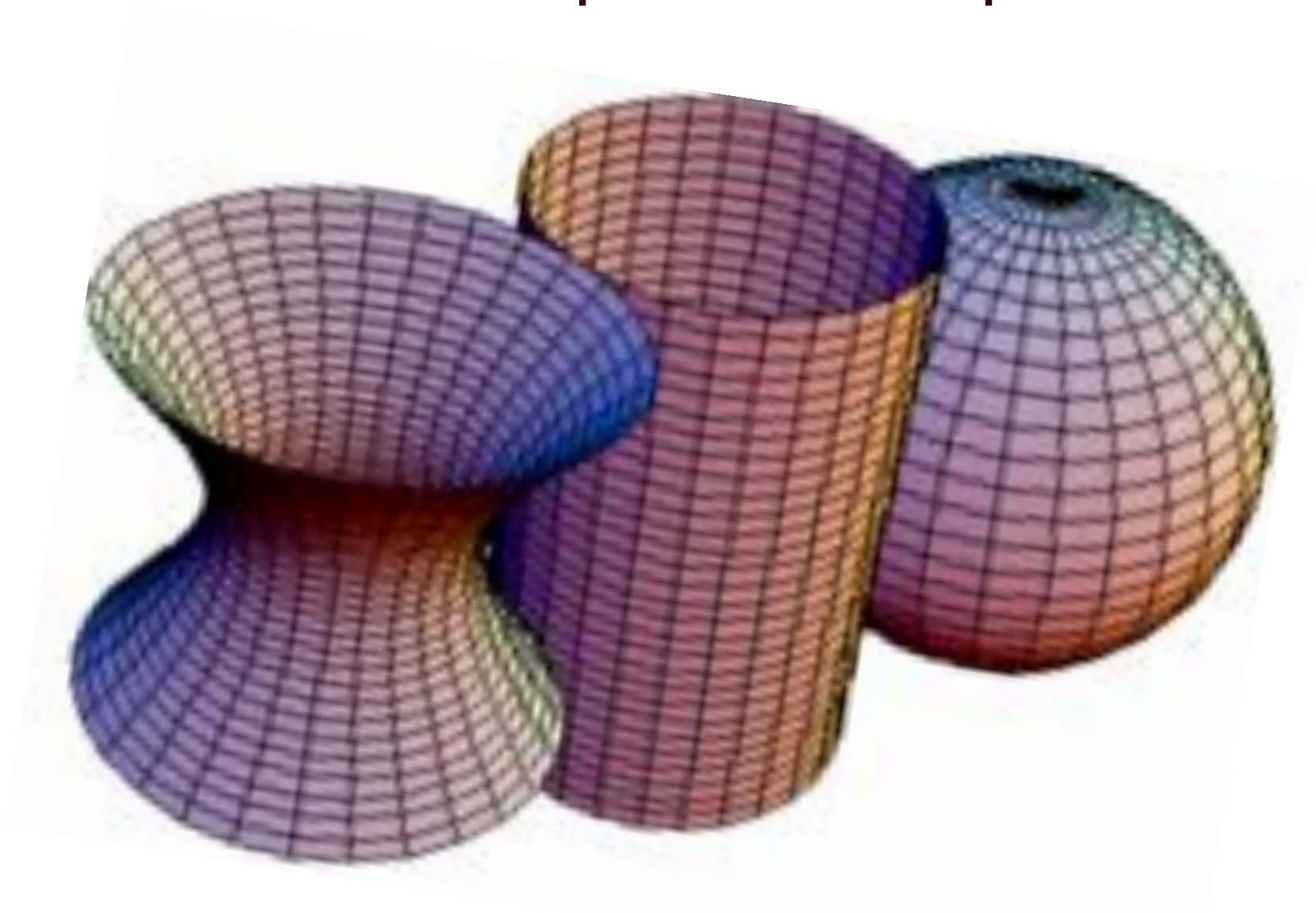
Величие числа π

- $\pi = 3,141592653589793238462634385\dots$
- Оно формирует евклидову геометрию, которая справедлива для большей части Вселенной
- В знак фундаментальности этого числа существует «праздник π », который совпадает с днем рождения А.Эйнштейна.
- Как вы думаете, в чем причина этого совпадения? Назовите этот день.



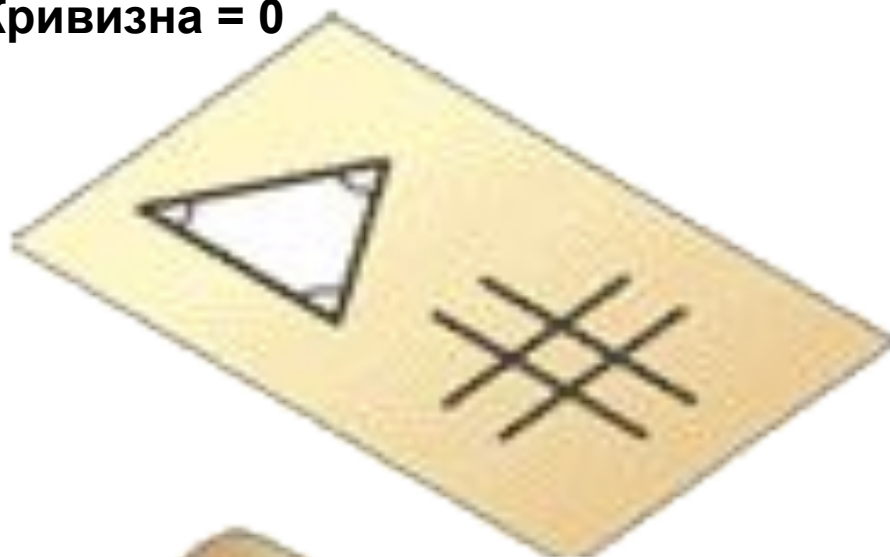
**Пам'ятник великому числу π в Сієтле
перед зданием Музея искусств**

В геометрии Евклида существуют
плоские и кривые поверхности



Кривизна поверхности в евклидовом пространстве

Кривизна = 0



Кривизна > 0

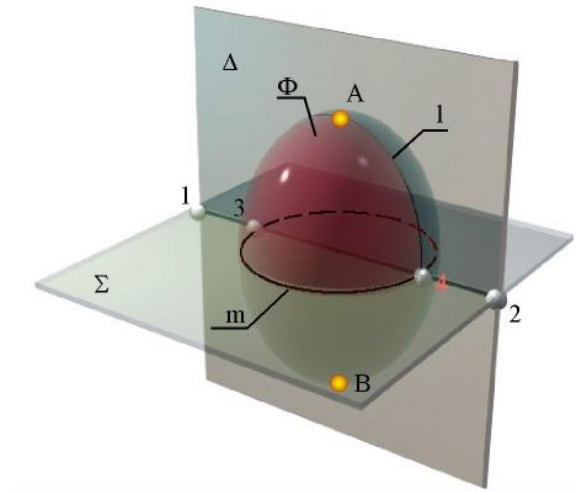
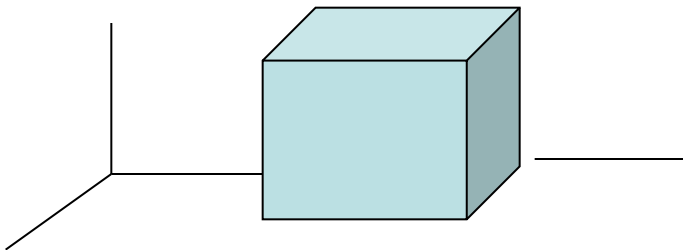


Кривизна < 0

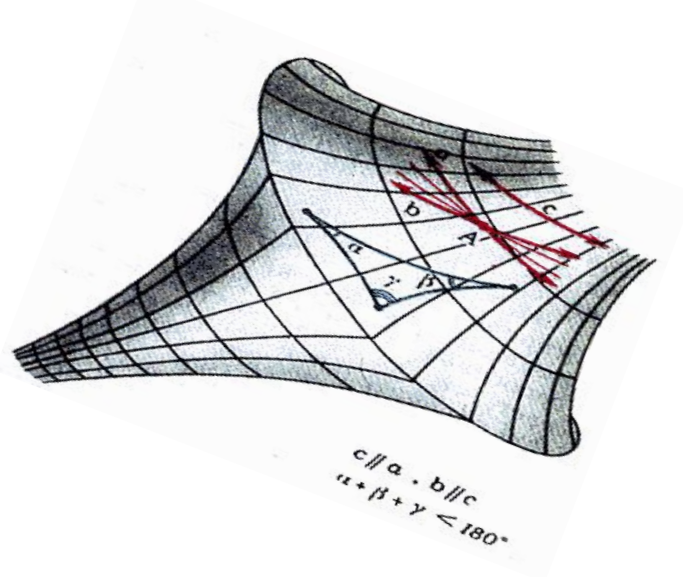
Пространство с нулевой кривизной -

«плоское» пространство

- В нем справедлива геометрия Евклида (теорема Пифагора)
- В нем могут быть кривые поверхности и объемные тела, имеющие три измерения



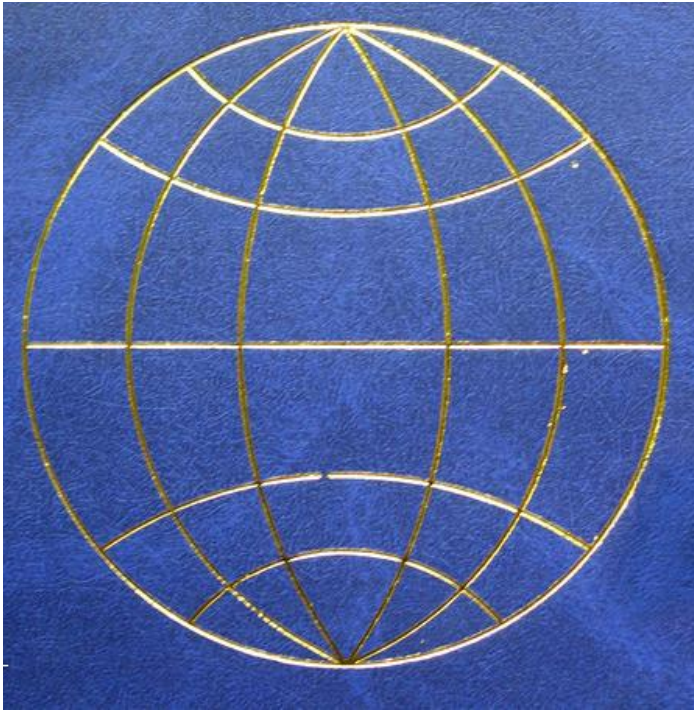
Неевклидовы пространства имеют кривизну < 0 или > 0



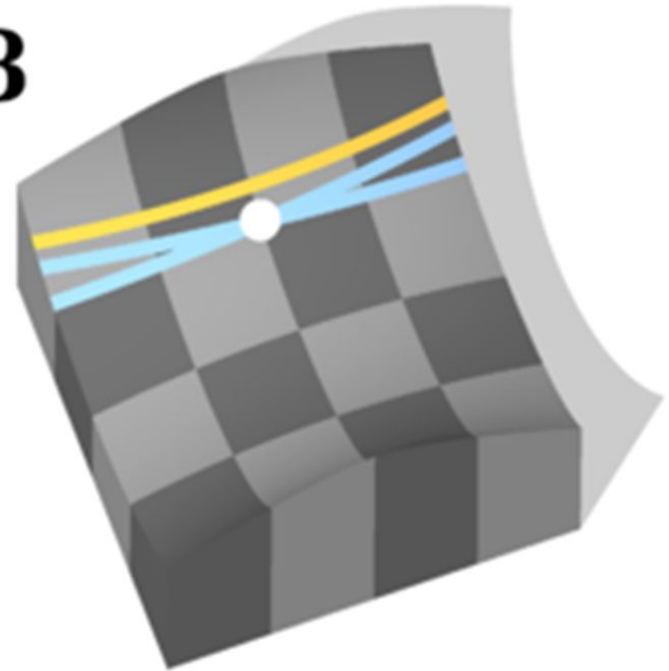
Пространства-поверхности не вложены в трехмерный мир, а самостоятельные геометрические сущности

В искривленном пространстве

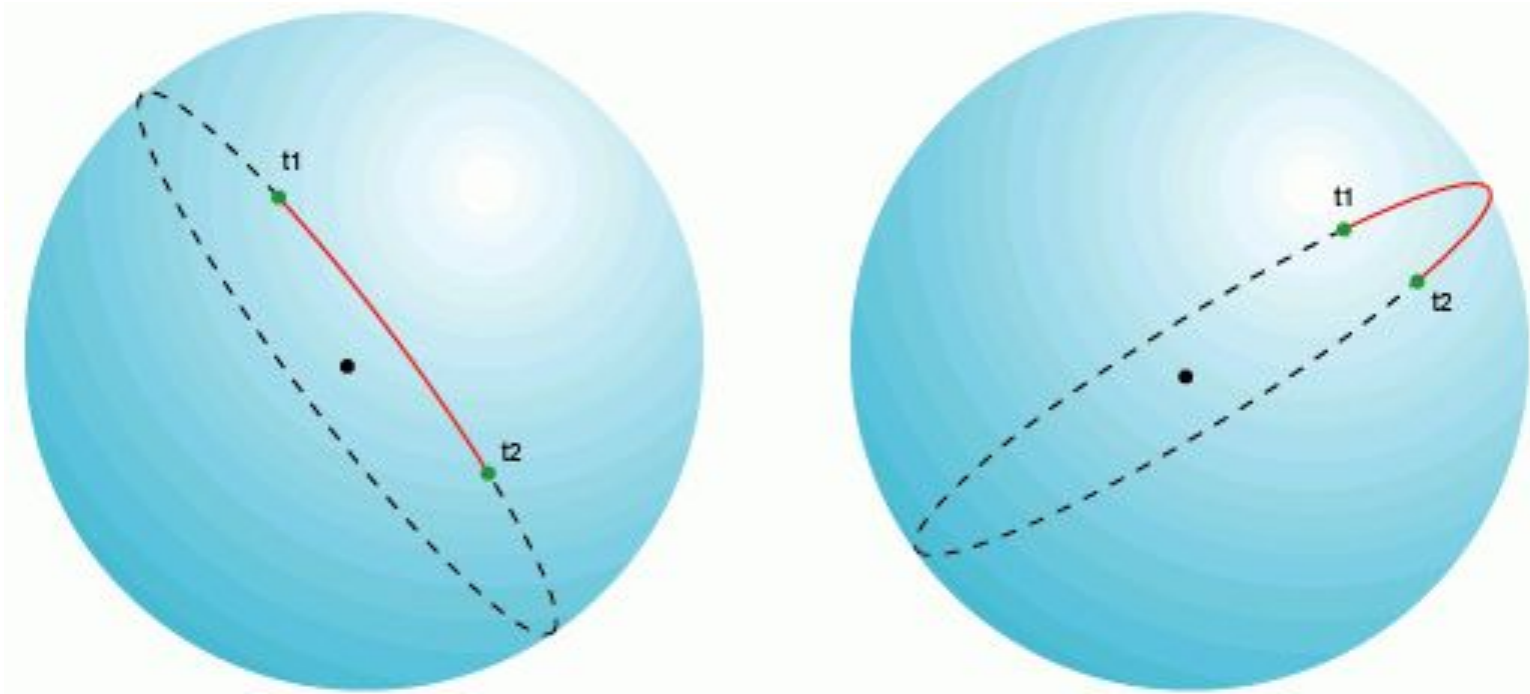
- — параллельные могут пересекаться



3

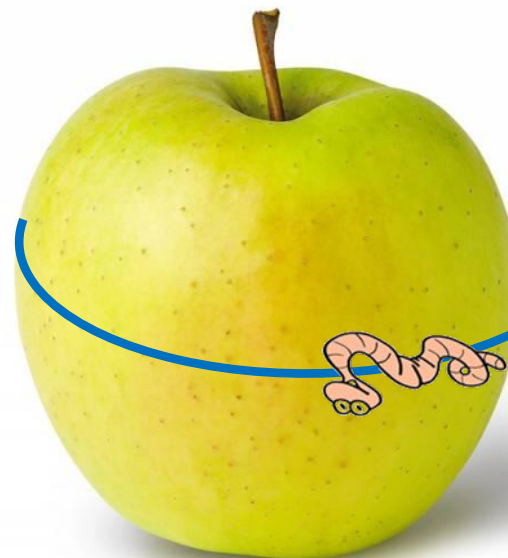
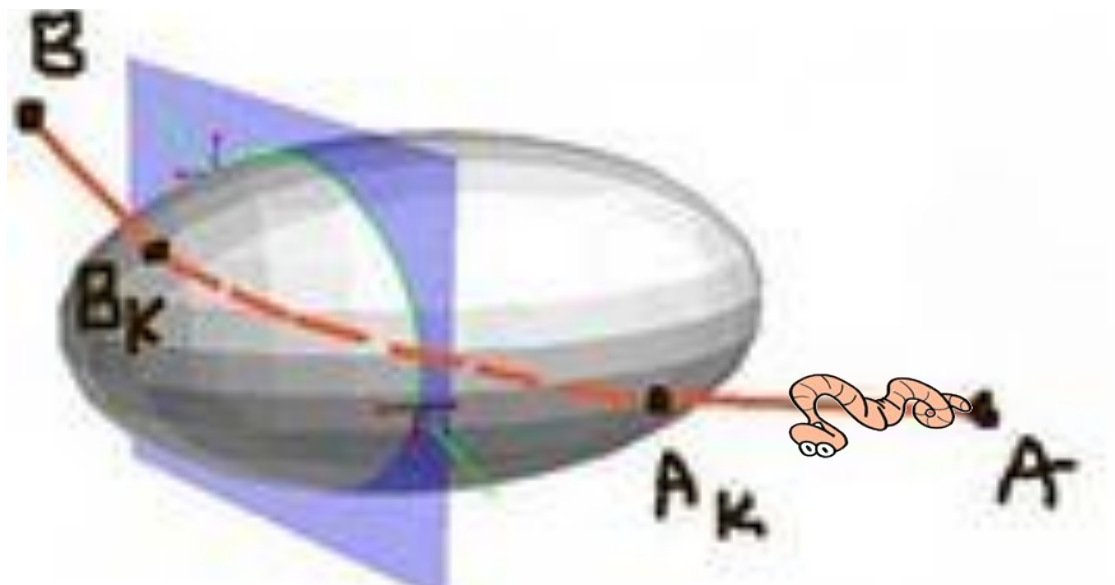


Дуга АВ - **геодезическая**

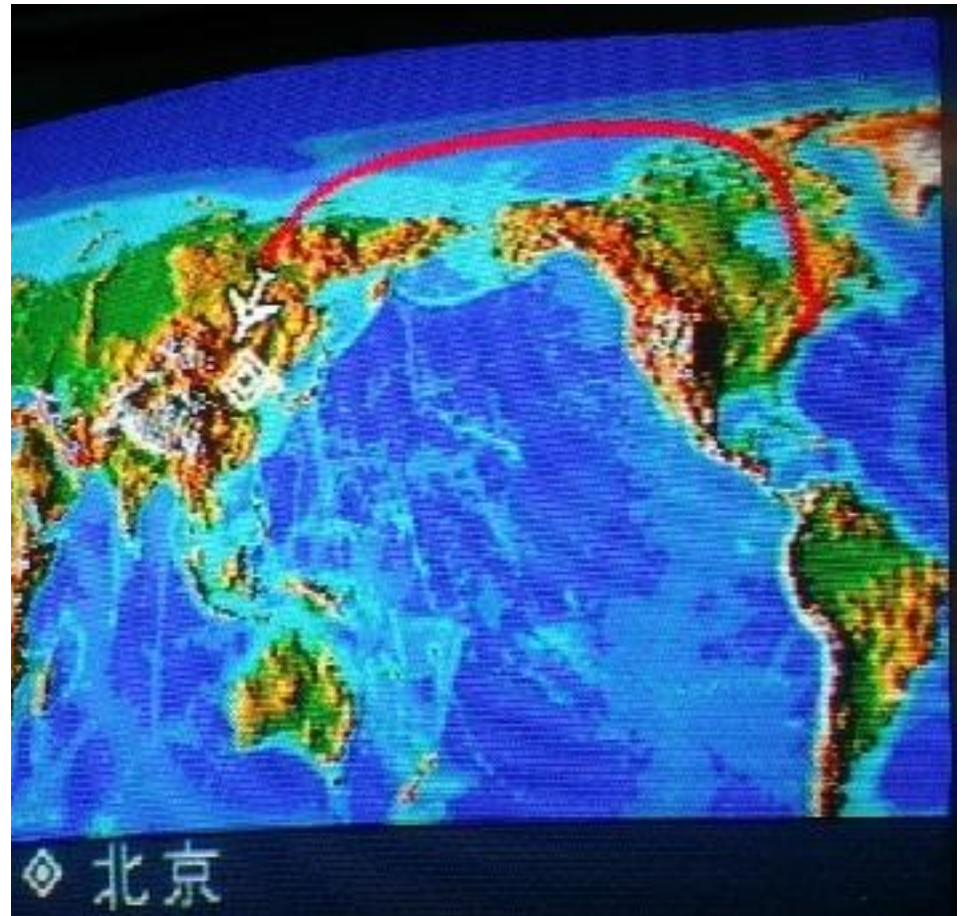
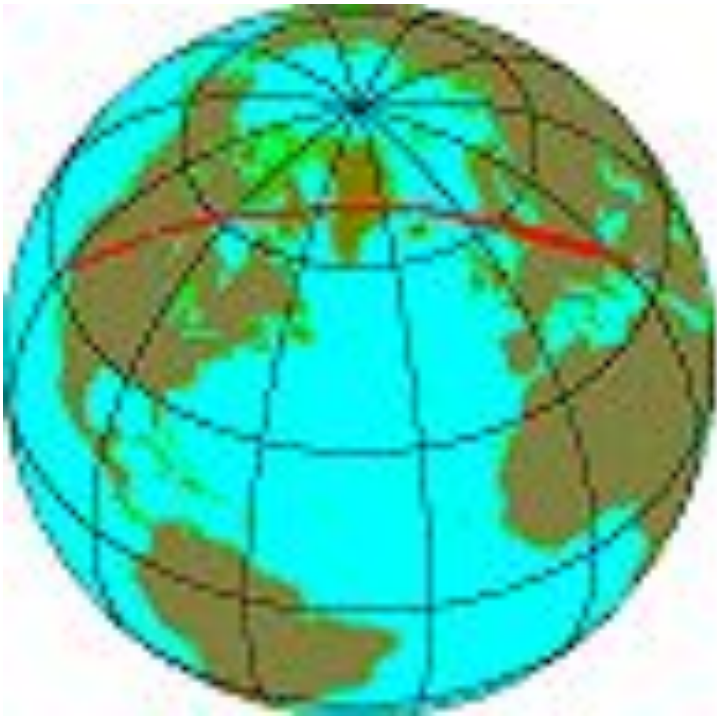


Кратчайшее расстояние между двумя точками на сфере (одной из поверхностей с положительной кривизной) - дуга сечения, проходящего через центр сферы

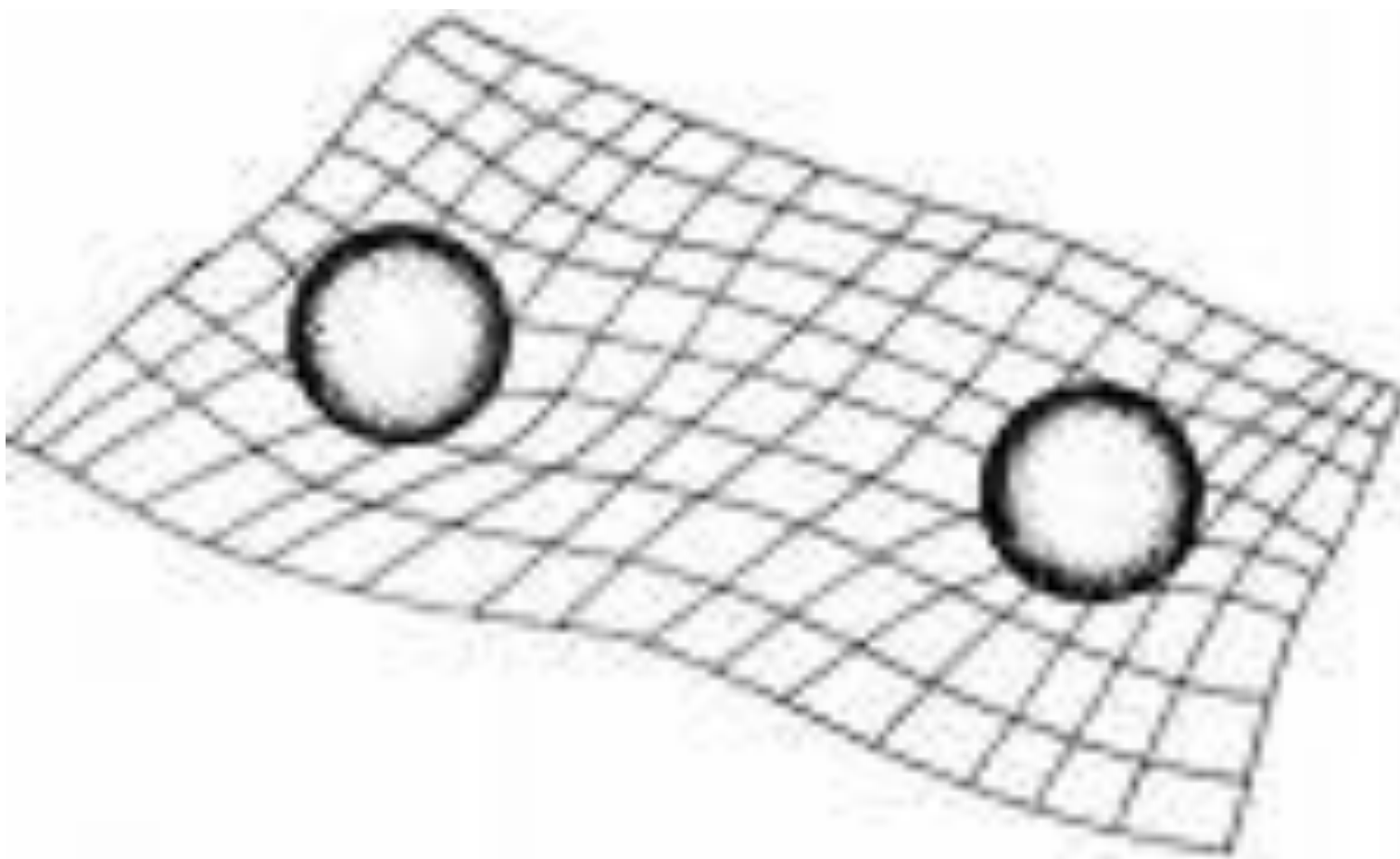
В искривленном пространстве
свободные тела движутся по
кривым линиям



Самолеты экономят горючее: Кратчайший путь Нью-Йорк- Пекин по геодезической



Батут с грузами– модель искривленного пространства



В СТО рассматриваются
ТОЛЬКО ДВИЖЕНИЯ
С ПОСТОЯННЫМИ СКОРОСТЯМИ

- Эти движения неотличимы от покоя
- В то же время движения с ускорением имеют существенные особенности. Они происходят под действием сил, самая универсальная из которых – сила тяготения

Гравитация создает ускорение g и вызывает силу тяжести



$$P = mg$$

Сила тяжести (гравитационная
сила) – сила притяжения

Ускорение свободного падения, создаваемое планетами, зависит от их массы , радиуса и высоты, на которую поднято тело.

$$g(h) = G \frac{M_{pl}}{(r + h)^2}$$

Ускорение свободного падения на поверхности некоторых небесных тел, м/с^2

Солнце 273,1

Меркурий 3,68—3,74

Земля **9,81**

Церера 0,27

Юпитер 23,95

Уран 8,86

Плутон 0,61

Венера 8,88

Луна 1,62

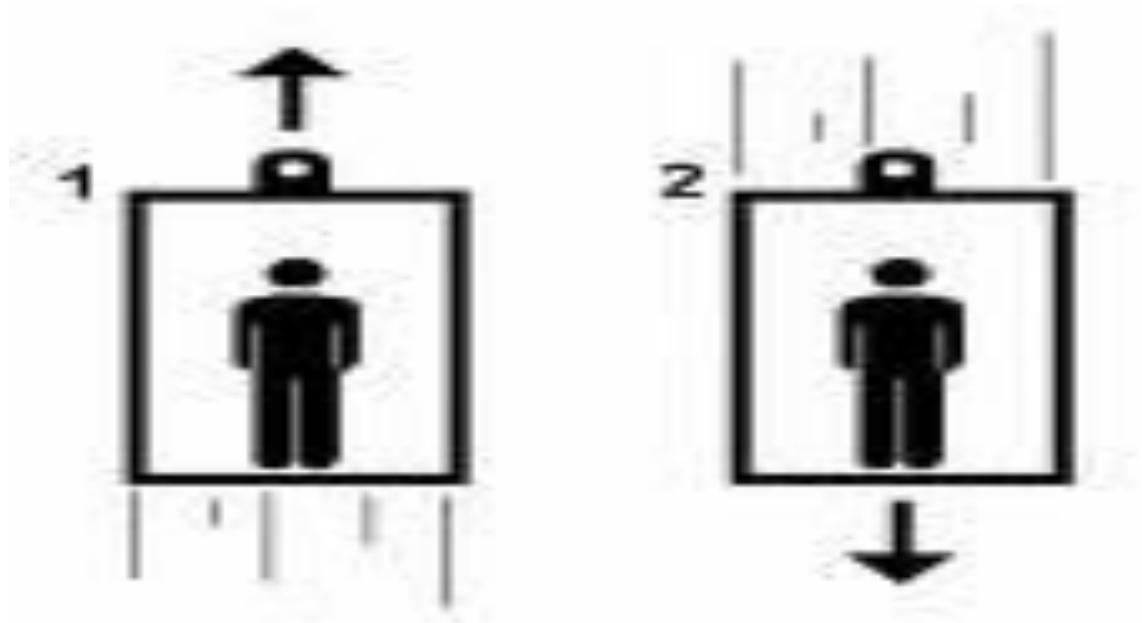
Марс 3,86

Сатурн 10,44

Нептун 11,09

Масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг; радиус Земли $6,4 \cdot 10^3$ м

Можно ли «управлять» силой тяжести?

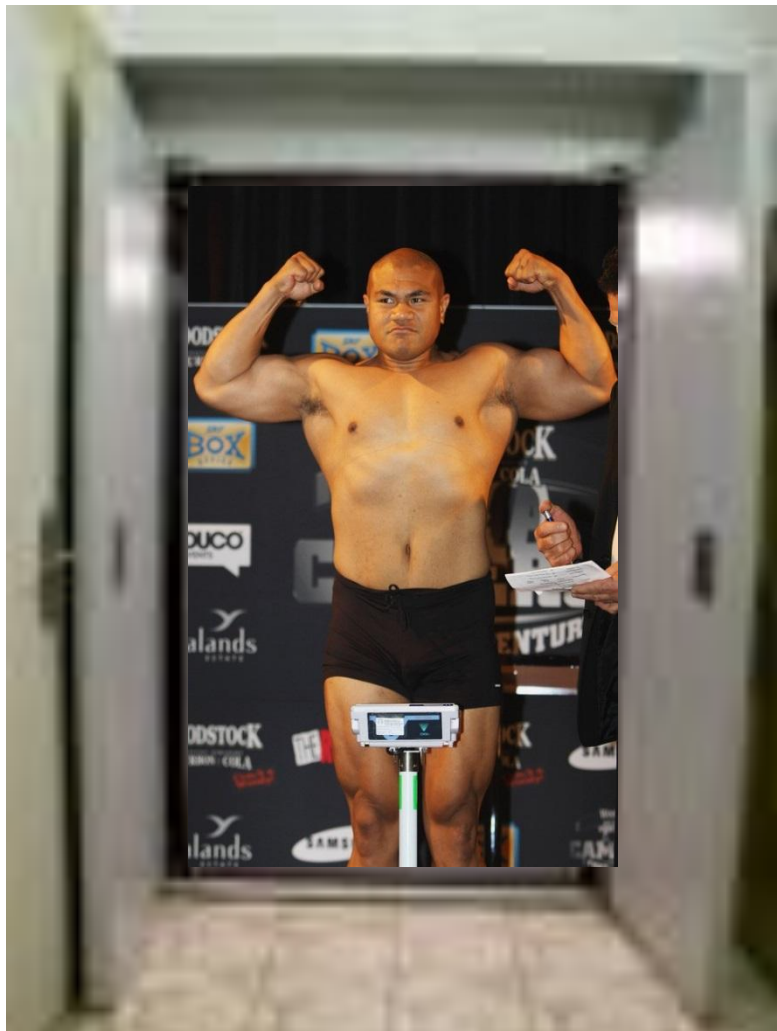


Вес тела- это
сила давления на
опору или
подвес

При резком подъёме в лифте нам кажется, что наш вес увеличивается, а при резком спуске - уменьшается

Проявление связи ускорения и гравитации
заметил Эйнштейн, сформулировав
ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ.

Можно ли создать «невесомость»



Если трос лифта оборвется, то лифт, весы и человек будут падать с одинаковым ускорением g .

Человек перестанет давить на весы, и они покажут ноль. Вес свободно падающего тела равен нулю.

При этом сила тяжести не исчезнет. Она по-прежнему определяется как

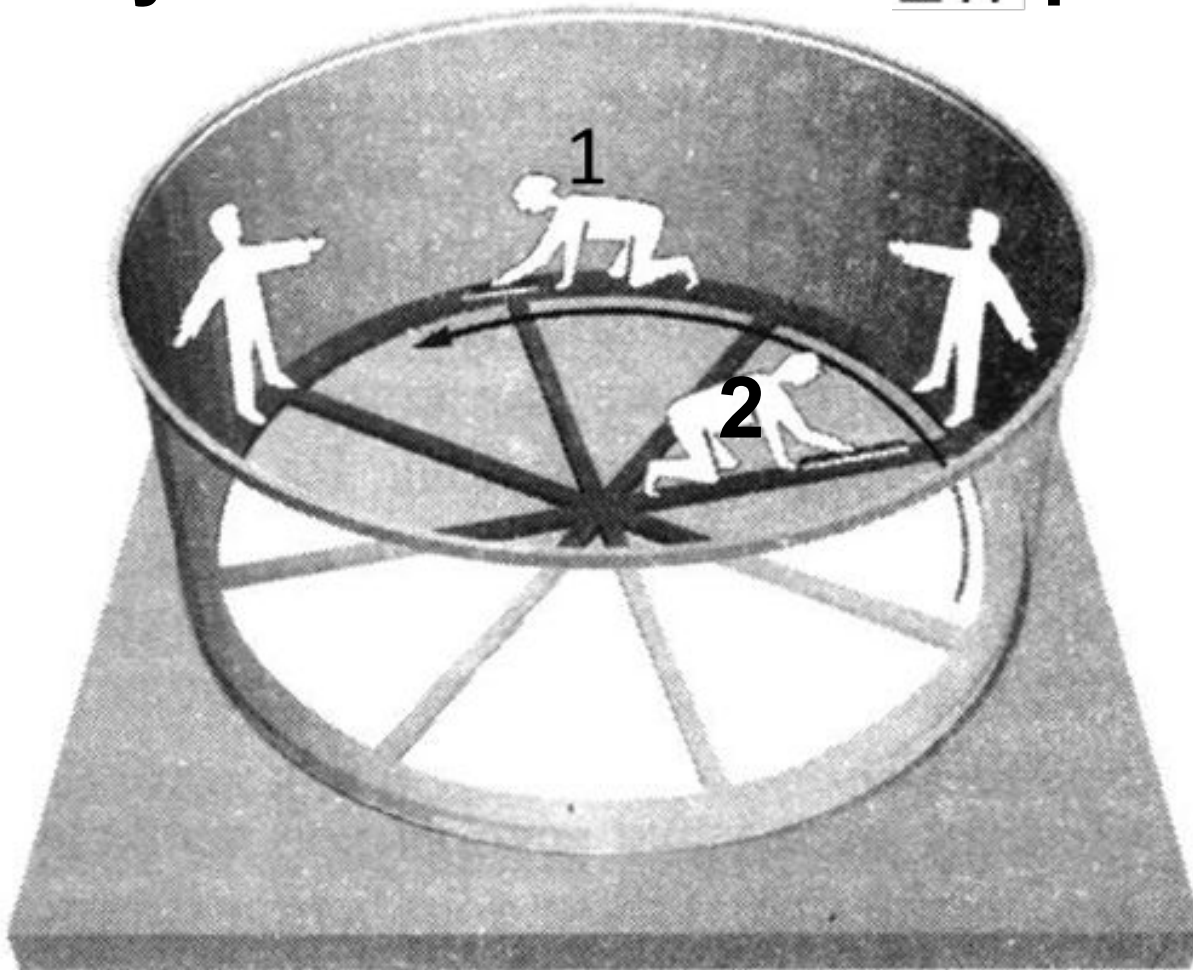
$$P = mg$$



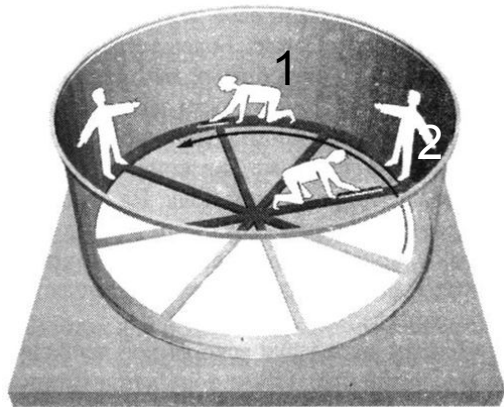
Движение по окружности происходит с **центростремительным ускорением**

При движении по окружности кресло отклоняется от вертикали

Человек 1 измеряет длину окружности карусели линейкой длиной в радиус. В неподвижном состоянии линейка уложится на ней 2π раз.



Человек 2
измеряет
радиус
карусели

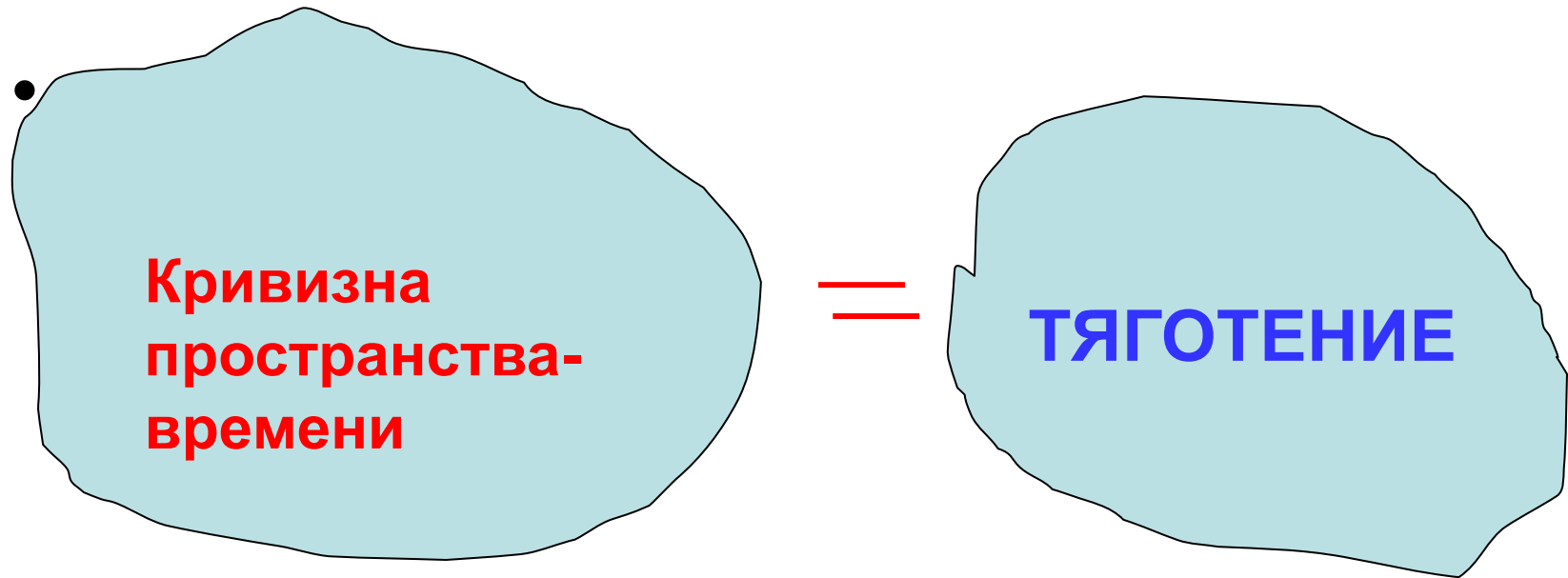


При вращении карусели размер линейки в руках человека 1 сократится, и на окружности она уложится больше, чем 2π раз (это число зависит от скорости вращения). Он решит, что пространство **не-евклидово**, т.е. карусель находится в искривлённом пространстве.

Но человек 1 при вращении к тому же почувствует, что он прижат к стенке из-за действия центробежной силы, зависящей от **ускорения**, как будто появилась «горизонтальная» сила тяжести!

Счастливая идея Эйнштейна: ускоренное движение связано с искривлением пространства и времени.

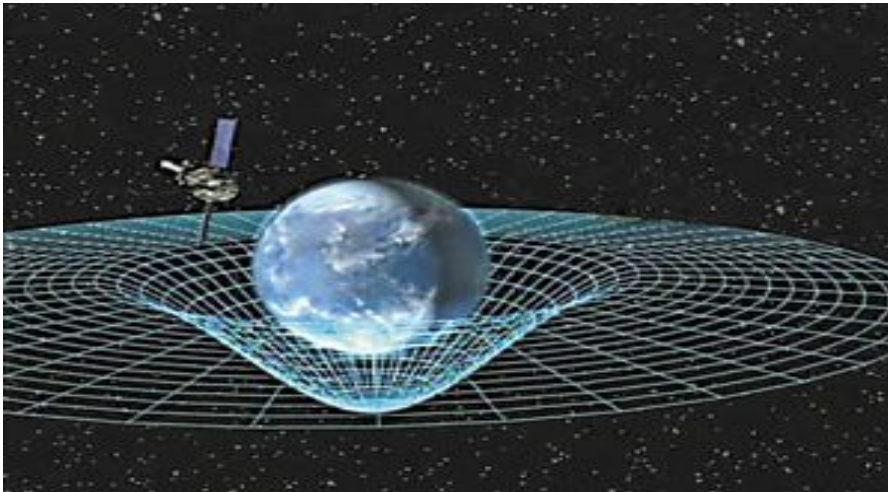
Эйнштейн: **принцип эквивалентности**



- Движение в поле тяготения (с ускорением) эквивалентно движению (по инерции) в искривленном пространстве без материи

Теория тяготения Эйнштейна - общая теория относительности (ОТО)

- Если **все тела** в одной и той же точке пространства падают с **одинаковым** ускорением, то это **ускорение можно связать не со свойствами падающих тел, а со свойствами самого пространства в этой точке.**

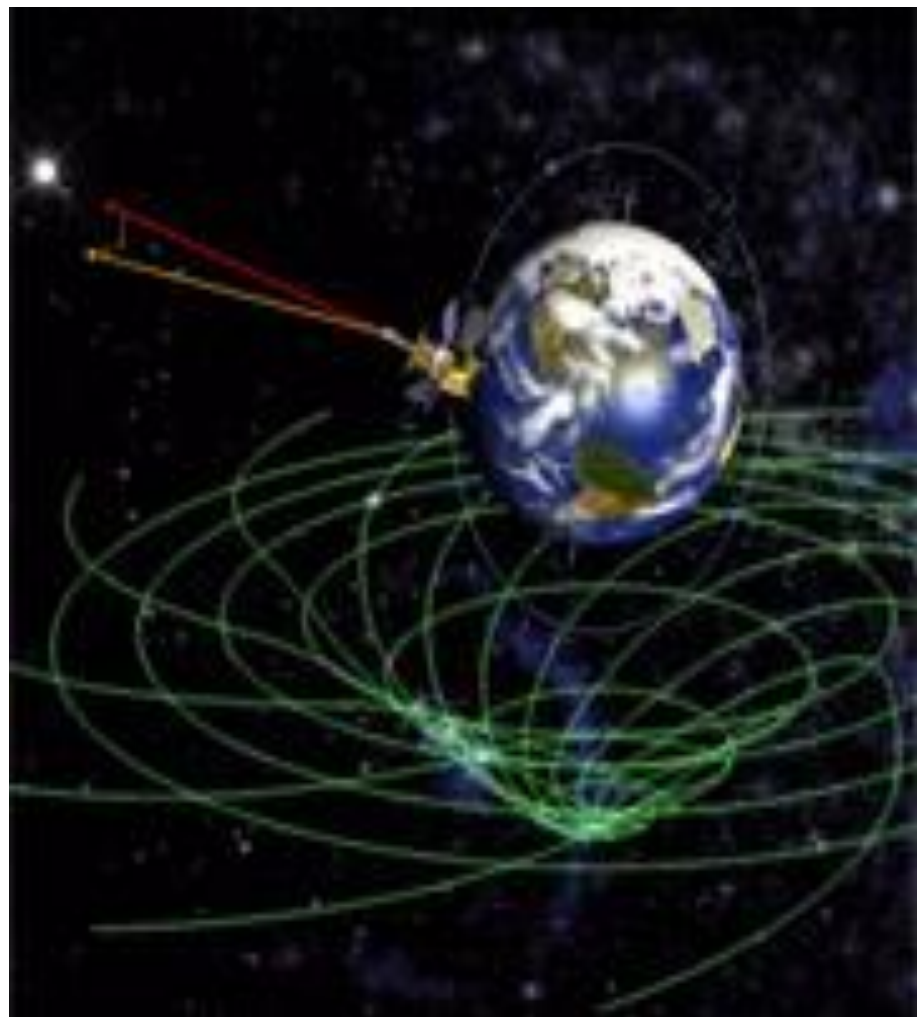


Источник искривления пространства – массивные космические тела. Вблизи них пространство приобретает кривизну.

Дж. Уиллер:

Масса управляет **пространством**,
говоря ему, как искривляться, а
пространство управляет **массой**,
говоря ей, как двигаться

Вблизи массивного тела даже луч света отклонится от прямолинейного направления



•Сближение и расхождение геодезических – результат тяготения, источником которого служит масса.

Концепция пространства-времени в ОТО

- Описание гравитационного взаимодействия между телами можно свести к описанию пространства-времени, кривизна которого определяется гравитационной постоянной G .

Концепция пространства-времени в ОТО

- Пространство-время оказываются локально искривленными
- Вся материя, рассеянная в Космосе, вносит вклад в гравитационное поле и, тем самым, в кривизну пространства-времени
- Ответ на вопрос: как быстро может меняться форма пространства-времени? – не мгновенно, как в теории Ньютона, а со скоростью **c**

Гравитационная постоянная **G**

- Определяет силу тяготения между объектами, имеющими массу.
- Определяет кривизну пространства-времени, т.е. свойства природы на фундаментальном уровне
- Ее относят к числу мировых постоянных
- Совместно с электродинамической постоянной **c** она составляет пару мировых постоянных, формирующих **классическую версию ЕНКМ**

При скоростях, сравнимых со
скоростью света:

**Пространство-
время**

**Искривление
пространства**

**Искривление
времени**

**Сокращение
длины**

**Замедление
хода часов**

Отклонение светового луча вблизи Солнца – следствие локального искривления пространства

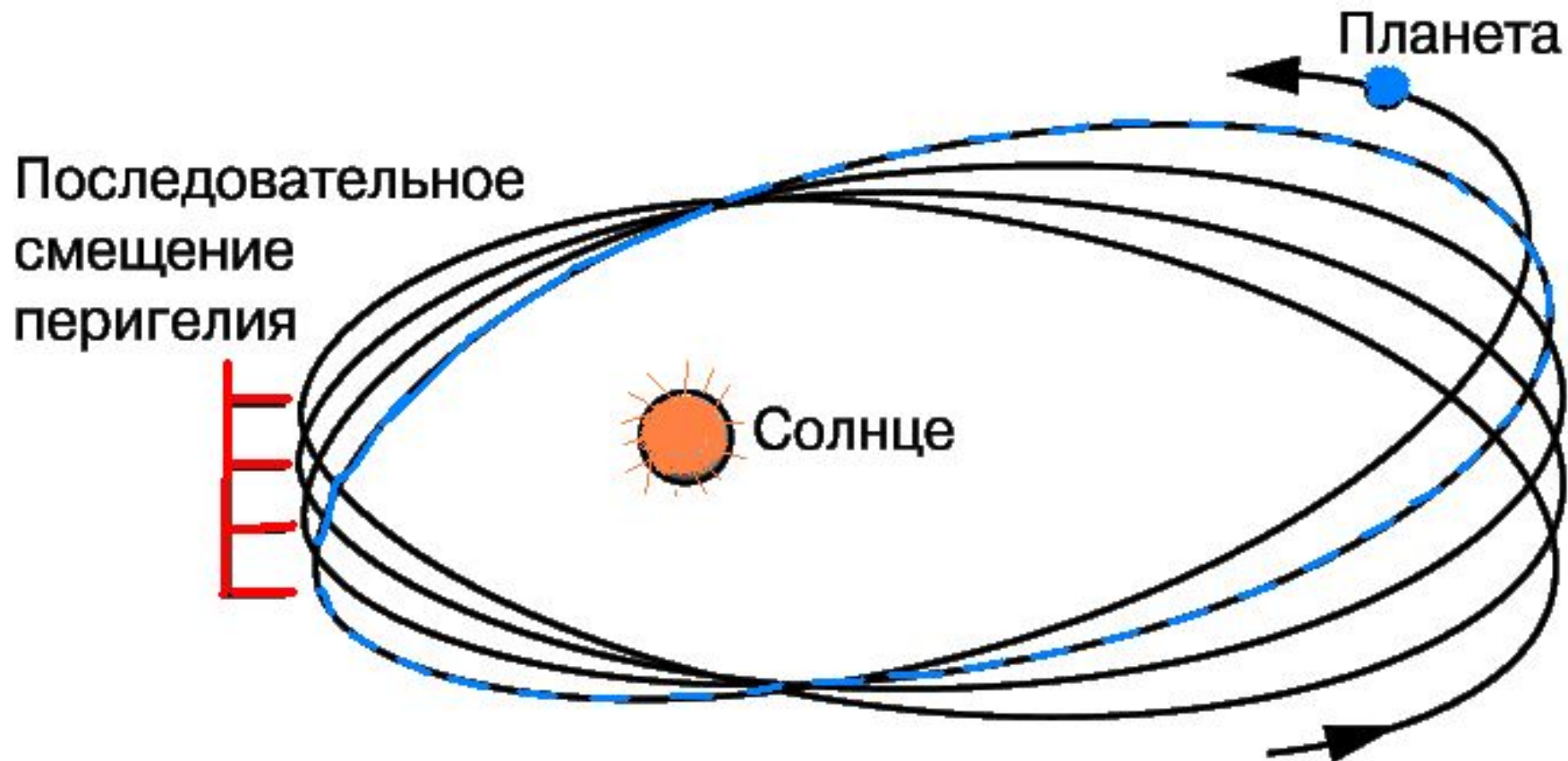


Наблюдения –
1,64 угл. мин.

По Ньютону -
0, 88 угл. мин

По Эйнштейну
1,75 угл. мин

Смещение перигелия Меркурия



Смещение перигелия Меркурия

Наблюдения: Полный поворот орбиты за **225 000 лет**, или **43 угл. сек./ год**

по Ньютону
244 000 лет

По Эйнштейну
43 угл. сек./ год !!!

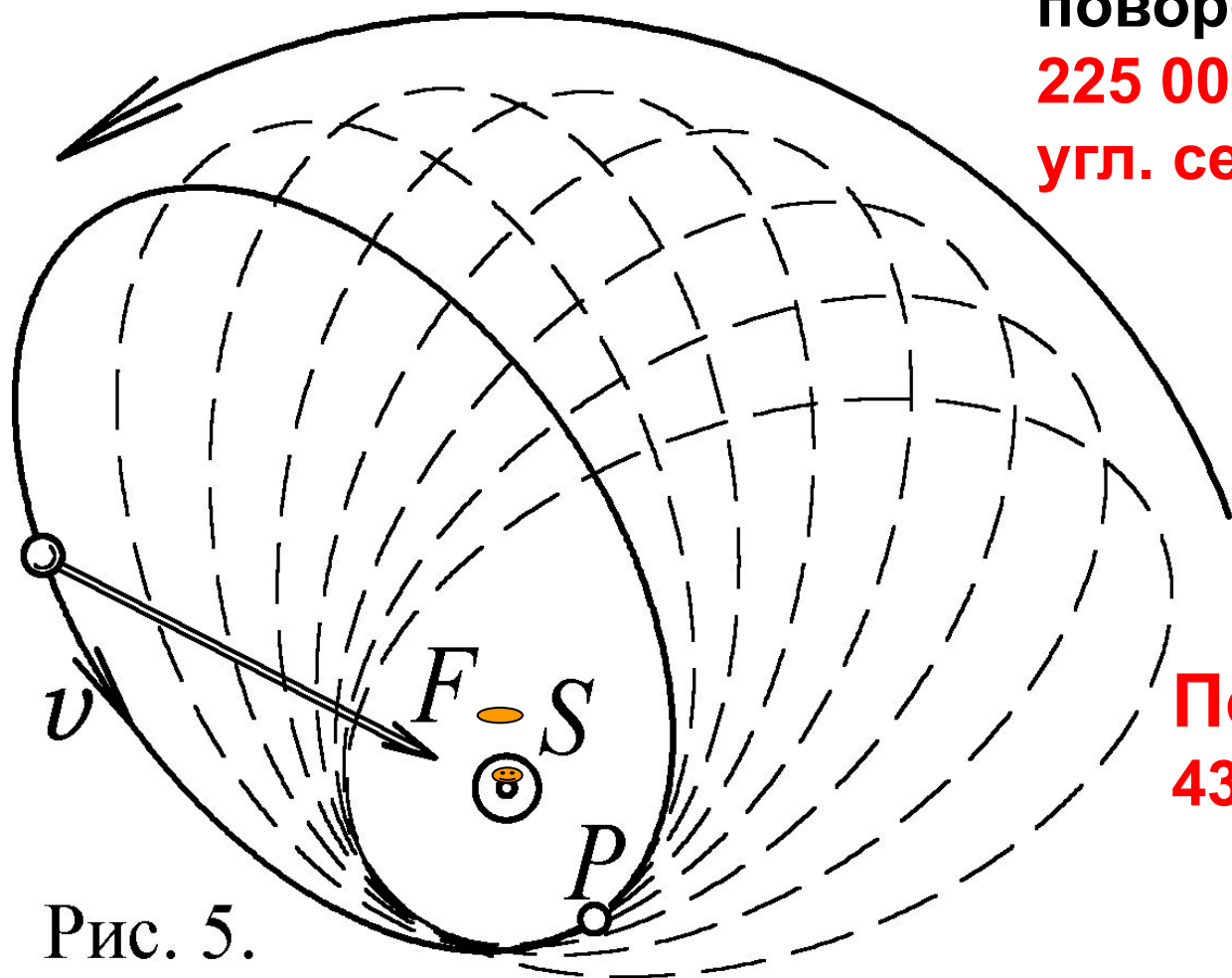


Рис. 5.

архив

Электромагнитное излучение атомов



Энергия	3×10^4	20	0,5	0,3	2×10^{-4}	7×10^{-7}	
Длина волны	6×10^{-12}	8×10^{-8}	$3,8 \times 10^{-7}$	$7,6 \times 10^{-7}$	0,0001	0,3	
Частота	5×10^{18}	5×10^{15}	$7,9 \times 10^{14}$	$3,9 \times 10^{14}$	3×10^{11}	109	
	Гамма излучение	Рентгеновское излучение	Ультрафиол. излучение	Видимое излучение	Инфракрасное излучение	Микроволновое излучение	Радиоволны

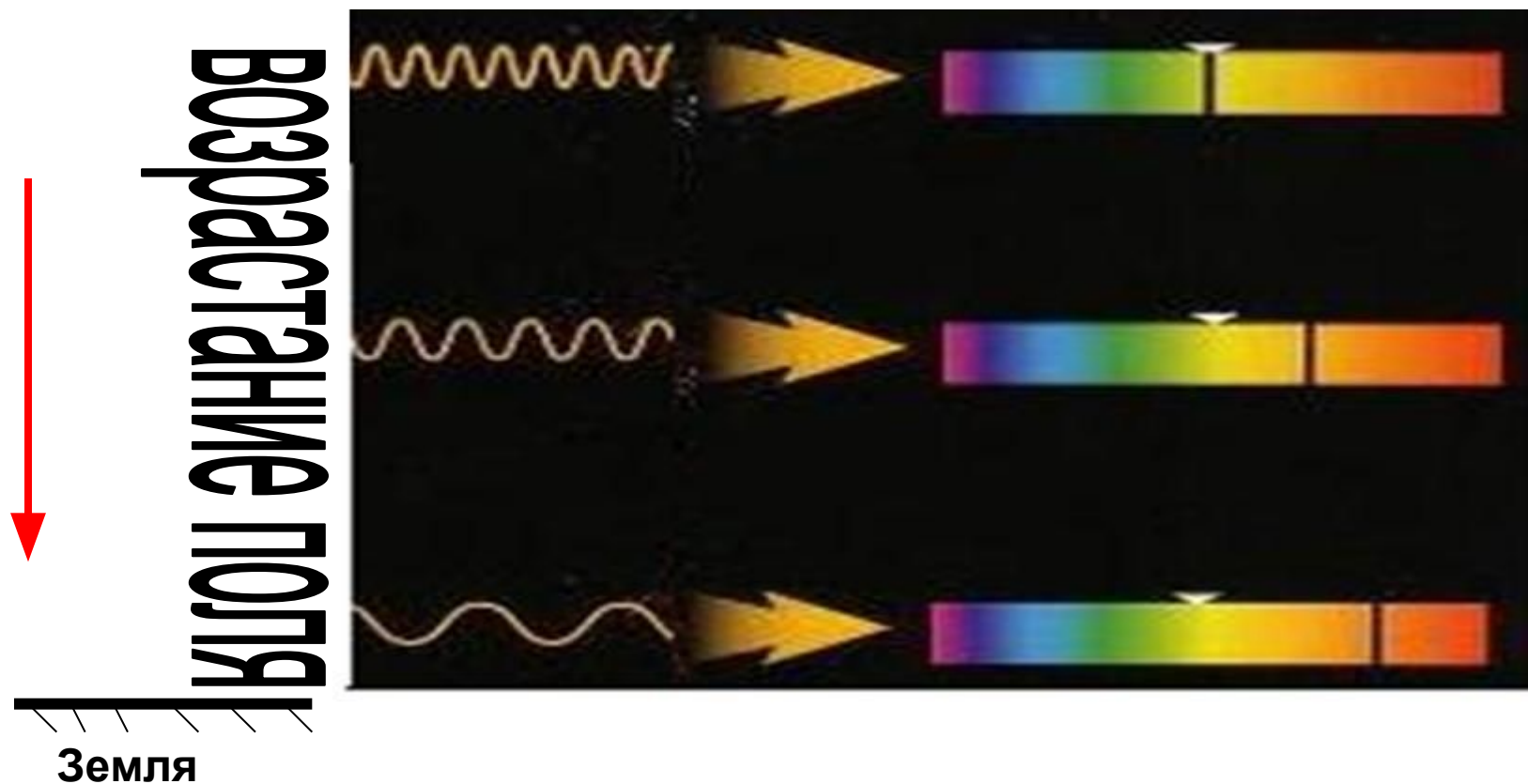
Короткие волны	Средние волны	Длинные волны	
$0,76 \times 10^{-7} \text{ м}$	$1,5 \times 10^{-3} \text{ м}$	$5,6 \times 10^{-7} \text{ м}$	0,0001 м

Атомные часы

- **Атомы** одного сорта в пустоте излучают ЭМИ **определенных частот** - «**атомные часы**». Их можно использовать как стандарты частоты и времени.
- Но гравитационное поле влияет на частоту излучения атома: чем **сильнее** поле (ближе к источнику), тем **меньше** частота излучения и наоборот

Влияние гравитации на ход атомных часов

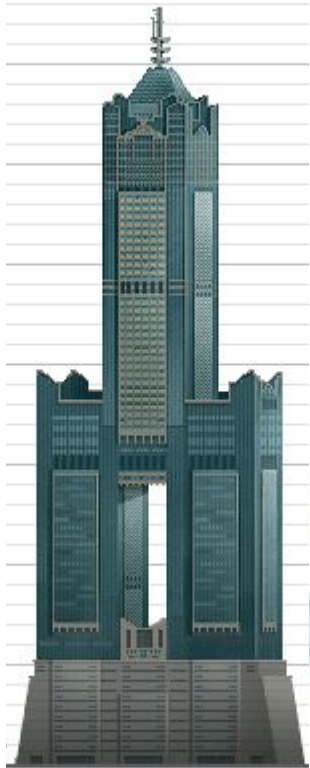
На высоте, в более слабом гравитационном поле атомные часы «тикают» быстрее. При этом происходит сдвиг частоты атомных часов в сторону синих (более высоких) частот



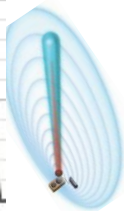
Эффект «красного смещения»

Часы на Земле настроены в унисон с синим фотоном, излучаемым источником на Земле. Часы поднимают на вершину башни и там они тикают быстрее, чем на Земле

Поэтому фотон наверху как бы отстает от них и с «*точки зрения этих часов*», частота фотона *уменьшается, что как бы говорит о покраснении фотона..*



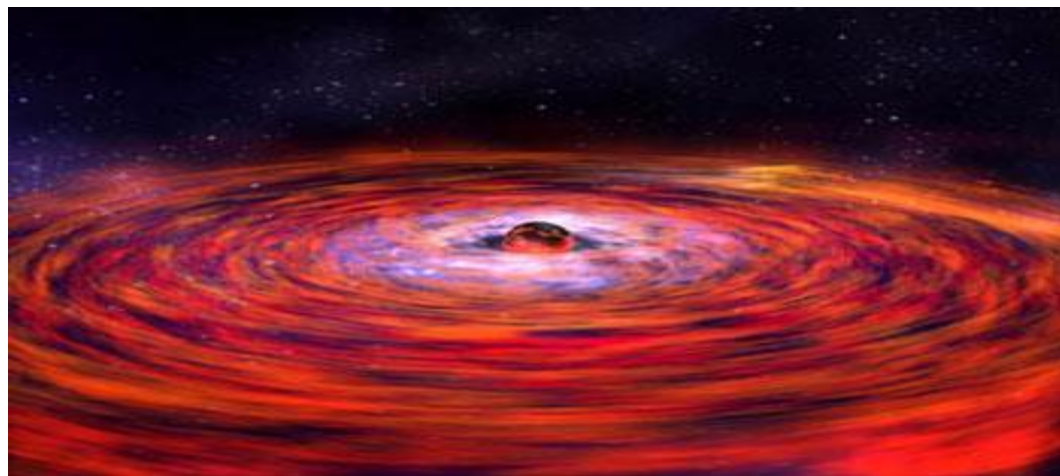
Turtex 85 Sky Tower



На самом деле, частота фотона остается прежней. В действительности благодаря ускорению темпа хода часов прежняя частота фотона воспринимается как «смещенная» в красную сторону спектра.

Наш мир – **плоский** или **искривленный** ?

- Искривление – локально, вблизи массивных тел
- В целом, наша Вселенная – плоская (Евклидова), но с локальной «мелкой рябью»

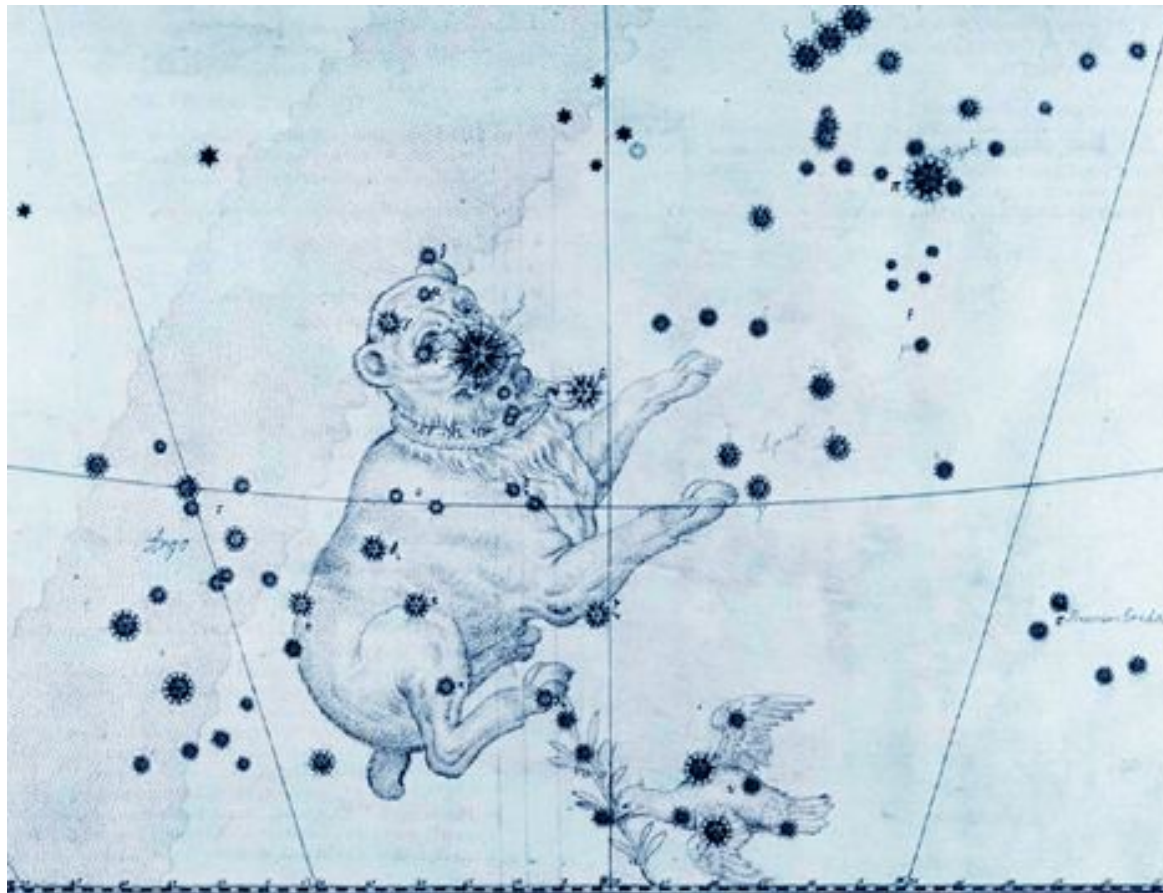


АРХИВ



Попробуем разобраться

Сириус (α Большого Пса) – ярчайшая звезда
нашего неба



Относительность парадокса близнецов

Расстояние до Сириуса 8,7 световых лет. 1 св. год = 9460 млрд. км

Пусть космический корабль движется со скоростью $12/13$ скорости света

Время движения до Сириуса и обратно 19,8 лет по часам корабля

На Земле по неподвижным часам пройдет 51,5 лет

Относительность парадокса близнецов

С другой стороны, космонавт может считать свой корабль неподвижной системой отсчета, тогда Земля удаляется от него со скоростью $\frac{12}{13}$ скорости света.

На Земле пройдет 19,8 лет, а по часам корабля 51,5 лет.

ПАРАДОКС!!!

Относительность парадокса близнецов

Решение:

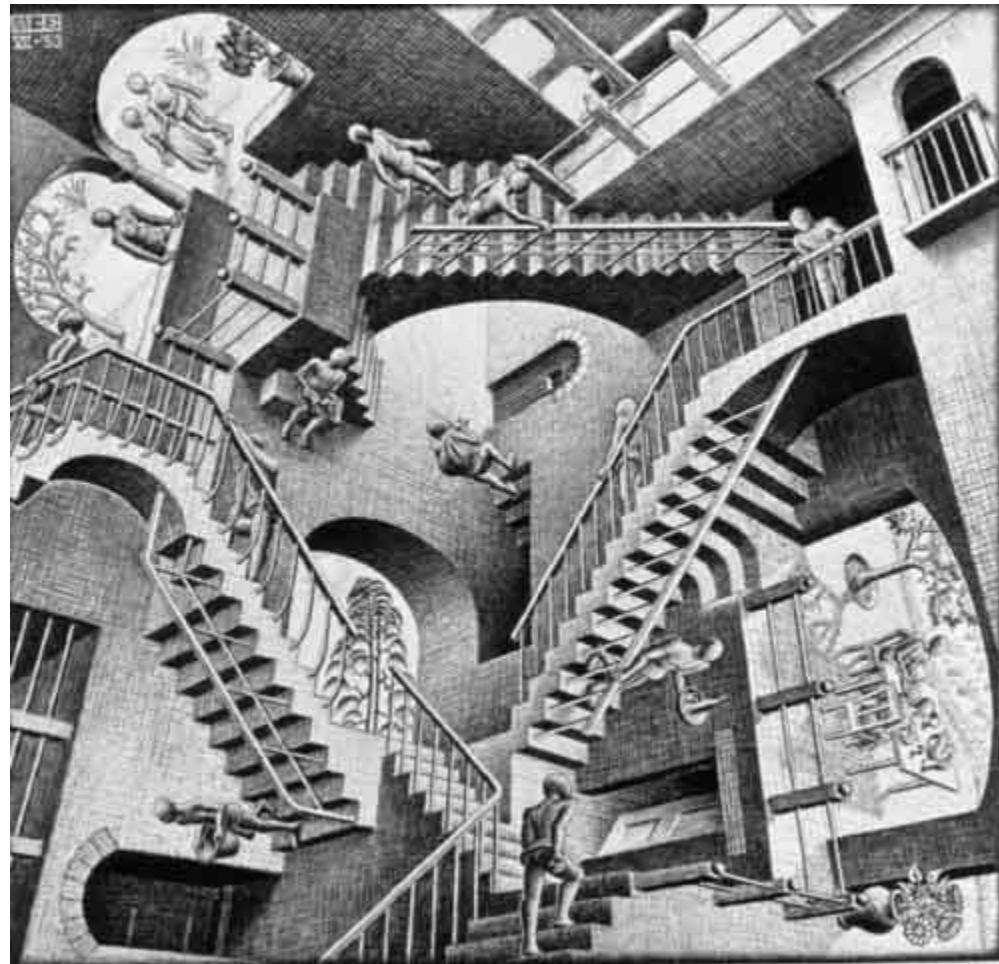
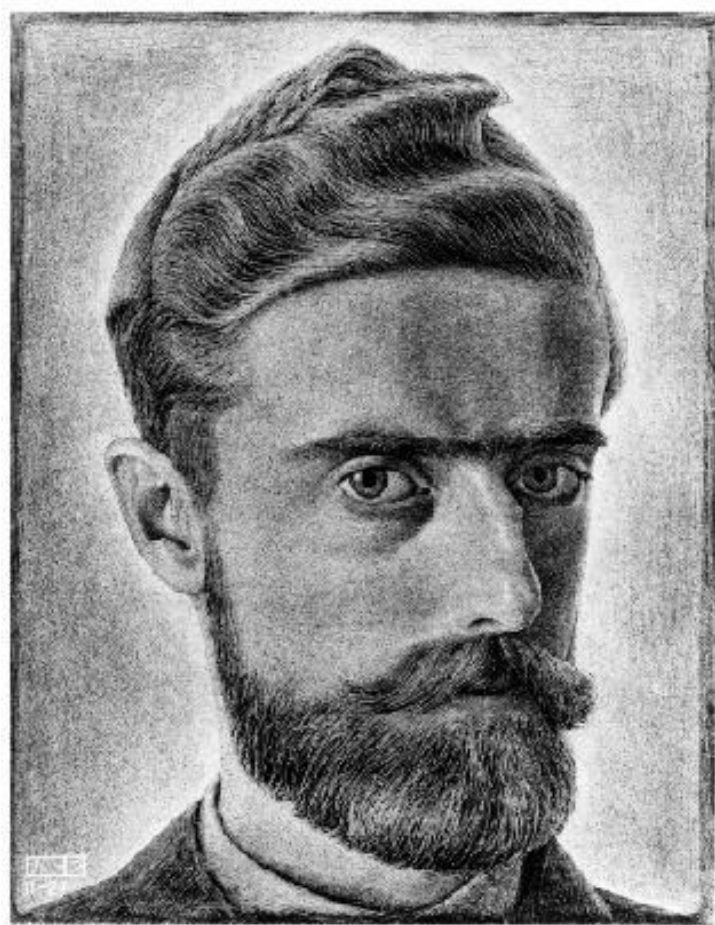
Ракета – неинерциальная система отсчета
(меняет скорость при развороте от
Сириуса обратно)

Эксперимент – **мысленный**, в реальности
неосуществим.

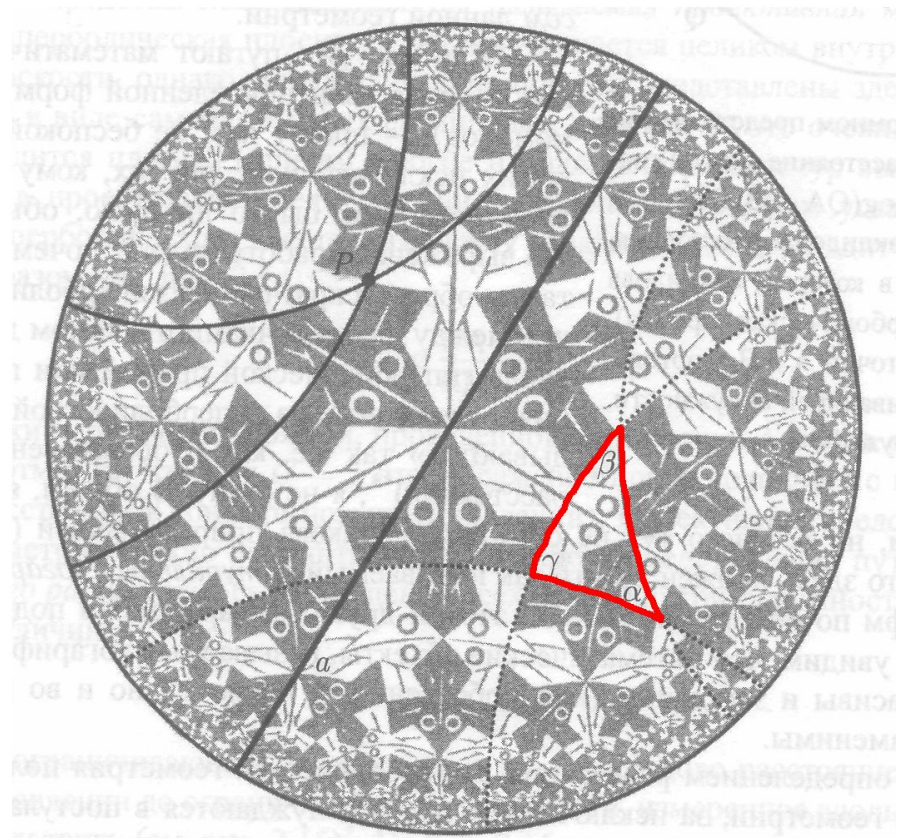
**Каждый инерциальный наблюдатель
имеет право считать, что часы
другого замедлили ход.**

Мауриц Эшер 1898-1972, Нидерланды

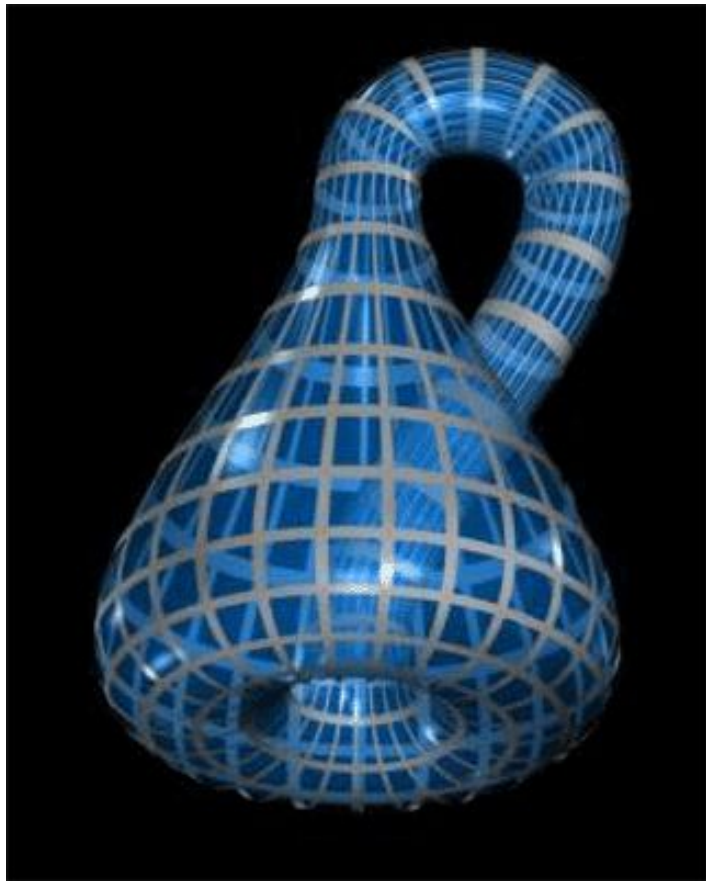
- Относительность



Предел круга

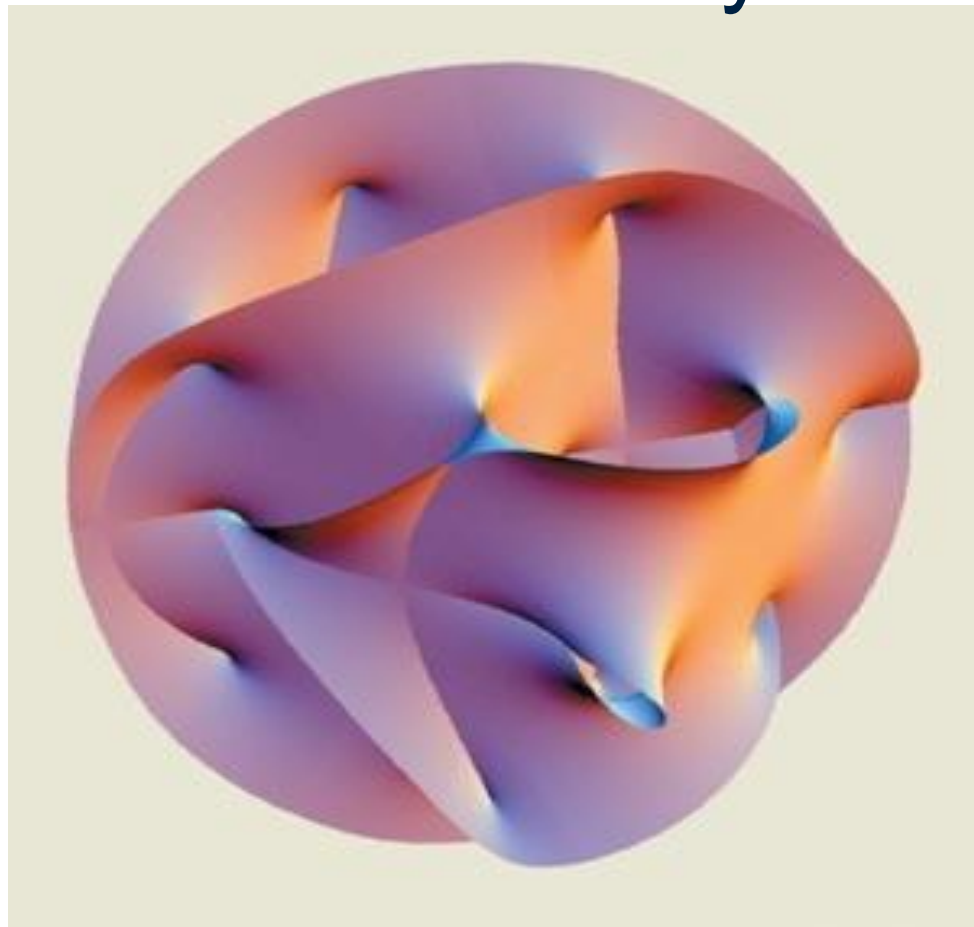


Бутылка Клейна



Поверхность в четырехмерном пространстве, не имеющая краев

Пространство Калаби-Яу



Модель бутылки Клейна в трёхмерном евклидовом пространстве,

- взять бутылку с двумя отверстиями: в доньшке и в стенке,
- вытянуть горлышко, изогнуть его вниз,
- продев его через отверстие в стенке бутылки, плавно без изломов присоединить к отверстию на дне бутылки.



Эффект патефона

Для *правильного*
воспроизведения
скорость вращения
пластинки должна
равняться скорости
записи звука

С **увеличением**
скорости вращения
пластинки **частота**
звукa повышается





Счастливая идея Эйнштейна:

Человек на карусели будет прижат к стенке, как будто появилась «горизонтальная» сила тяжести!

Кроме того, в силу сокращения радиуса длина окружности станет меньше $2\pi r$, что характерно для искривленного пространства. Следовательно, при **ускоренном движении пространство искривляется!**